



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200380101138.0

[43] 公开日 2005 年 11 月 30 日

[11] 公开号 CN 1703265A

[22] 申请日 2003.10.10

[21] 申请号 200380101138.0

[30] 优先权

[32] 2002.10.11 [33] US [31] 10/269,064

[86] 国际申请 PCT/US2003/029122 2003.10.10

[87] 国际公布 WO2004/033073 英 2004.4.22

[85] 进入国家阶段日期 2005.4.8

[71] 申请人 H2GEN 创新公司

地址 美国弗吉尼亚

[72] 发明人 小·F·D·洛马克思

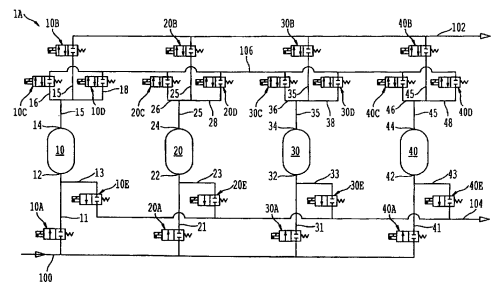
[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商
标事务所
代理人 蒋旭荣

权利要求书 7 页 说明书 28 页 附图 9 页

[54] 发明名称 高回收率的 PSA 循环及复杂性降低的设备

[57] 摘要

本发明公开了一种变压吸附方法，其包括步骤：通过利用设置在多个吸附容器中的吸附床对至少一种气体组分进行吸附而分离一气体混合物，其中，分离步骤具有至少两级压力平衡操作，且多个吸附容器中每一吸附容器完成分离步骤所用的阀门数不超过 5 个。变压吸附方法包括：一吸附步骤；一第一压力平衡步骤，其具有至少两级操作，在该步骤中，压力被降低；一吹洗步骤；以及一第二压力平衡步骤，其具有至少两级操作，在该步骤中，压力被升高。一种变压吸附系统中设置有多个吸附容器，每一吸附容器都具有：一第一开口，其通过一第一阀门与一气源歧管相连接，并通过一第二阀门与一废气歧管相连接；以及一第二开口，其通过一第三阀门与一产品歧管相连接，并通过一第四阀门和第五阀门与一均压管路相连接。



1. 一种变压吸附方法，其包括以下步骤：
通过在设于多个吸附容器中的吸附床中对至少一种气体组分进行吸附而分离气体混合物，
其中，分离步骤具有至少两级压力平衡操作，且对于多个吸附容器，每一吸附容器完成分离步骤所用的阀门数不超过5个。
2. 根据权利要求1所述的方法，其中，多个吸附容器中每一吸附容器完成分离步骤所用的阀门数不超过4个。
3. 根据权利要求2所述的方法，其中，使用至少五个吸附容器来执行所述方法。
4. 根据权利要求3所述的方法，其中，多个吸附容器中每一吸附容器完成分离步骤所用的阀门数不超过4个。
5. 根据权利要求1所述的方法，其中，分离步骤具有至少三级压力平衡操作。
6. 根据权利要求1所述的方法，其中，使用六个吸附容器执行所述方法，且分离步骤具有三级压力平衡操作。
7. 根据权利要求5所述的方法，其中，多个吸附容器中每一吸附容器完成分离步骤所用的阀门数不超过4个。
8. 根据权利要求1所述的方法，其中，使用七个吸附容器执行所述方法，且分离步骤具有三级压力平衡操作。
9. 根据权利要求1所述的方法，其还包括设置第一均压管路的步骤，该管路与多个吸附容器中的每一吸附容器相连。
10. 根据权利要求9所述的方法，其中，两级压力平衡操作是通过第一均压管路进行的。
11. 根据权利要求10所述的方法，其还包括设置一第一阀门的步骤，其使第一均压管路与多个吸附容器中第一吸附容器实现流路连接，该第一阀门不阻止流体沿第一均压管路流向多个吸附容器中其余的任何吸附容器。

12. 根据权利要求 9 所述的方法，其还包括设置一第二均压管路的步骤，该第二均压管路与多个吸附容器中的每一吸附容器相连，其中，两级压力平衡操作是通过第一均压管路和第二均压管路进行的。

13. 根据权利要求 12 所述的方法，其还包括设置一第二阀门的步骤，其使第二均压管路与多个吸附容器中第一吸附容器实现流路连接，该第二阀门不阻止流体沿第二均压管路流向多个吸附容器中其余的任何吸附容器。

14. 根据权利要求 13 所述的方法，其中，第一阀门当处于开启状态时具有第一预定流速，第二阀门当处于开启状态时具有第二预定流速。

15. 根据权利要求 14 所述的方法，其中，第一预定流速不同于第二预定流速，在两级压力平衡操作的第一级操作过程中，第一阀门处于开启状态，在两级压力平衡操作的第二级操作过程中，第二阀门处于开启状态。

16. 根据权利要求 1 所述的方法，其中每一吸附容器都具有：

一第一开口，其通过第一阀门与一气源进气歧管相连接，并通过第二阀门与一废气排气歧管相连接；以及

一第二开口，其通过第三阀门与一产品排气歧管相连接，并通过第四阀门和第五阀门与一均压管路相连接，均压管路与多个吸附容器中的每一吸附容器相连接。

17. 根据权利要求 16 所述的方法，其中，第四、第五阀门不阻止流体沿均压管路流向多个吸附容器中任何其他的吸附容器。

18. 根据权利要求 16 所述的方法，其中，第四阀门当处于开启状态时具有第一预定流速，第五阀门当处于开启状态时具有第二预定流速。

19. 根据权利要求 18 所述的方法，其中，第一预定流速不同于第二预定流速，在两级压力平衡操作的第一级操作过程中，第四阀门处于开启状态，在两级压力平衡操作的第二级操作过程中，第五阀门处于开启状态。

20. 一种变压吸附方法，其通过在设于多个吸附容器中的吸附床上对至少一种气体组分进行吸附而分离气体混合物，其中，多个吸附容器是循环工作的。所述方法包括：

吸附步骤；

第一压力平衡步骤，其具有至少两级操作，第一压力平衡步骤降低压力；

吹洗步骤；以及

第二压力平衡步骤，其具有至少两级操作，第二压力平衡步骤升高压力，

其中，多个吸附容器中每一吸附容器完成所述方法所用阀门数不超过5个。

21. 根据权利要求20所述的方法，其中，多个吸附容器中每一吸附容器完成所述方法所用的阀门数不超过4个。

22. 根据权利要求21所述的方法，其中，使用至少五个吸附容器来执行所述方法。

23. 根据权利要求20所述的方法，其中，第一压力平衡步骤具有至少三级操作，第二压力平衡步骤具有至少三级操作。

24. 根据权利要求20所述的方法，其中，使用六个吸附容器来执行所述方法，第一压力平衡步骤具有三级操作，第二压力平衡步骤具有三级操作。

25. 根据权利要求24所述的方法，其中，多个吸附容器中每一吸附容器完成所述分离步骤所用的阀门数不超过4个。

26. 根据权利要求20所述的方法，其中，使用七个吸附容器来执行所述方法，第一压力平衡步骤具有三级操作，第二压力平衡步骤具有三级操作。

27. 根据权利要求20所述的方法，其中，

第一压力平衡步骤包括至少两级压力平衡/减压操作以及一并行减压操作，所述并行减压操作实现了吹洗气体的步骤；以及

第二压力平衡步骤包括至少两级压力平衡/再升压操作以及一最

终再升压步骤。

28. 根据权利要求 27 所述的方法, 其中, 第一压力平衡步骤中所有的压力平衡/减压操作都是在实现吹洗气体步骤的并行减压操作之前进行的。

29. 根据权利要求 20 所述的方法, 其中, 所述方法还包括一逆向排气步骤, 其在吹洗步骤之前。

30. 根据权利要求 20 所述的方法, 其还包括设置第一均压管路的步骤, 该第一均压管路与多个吸附容器中的每一吸附容器相连。

31. 根据权利要求 30 所述的方法, 其中, 第一压力平衡步骤和第二压力平衡步骤是通过第一均压管路进行的。

32. 根据权利要求 31 所述的方法, 其还包括设置一阀门的步骤, 该阀门使第一均压管路与多个吸附容器中的第一吸附容器实现流路连接, 该阀门不阻止流体沿第一均压管路流向多个吸附容器中其余的任何吸附容器。

33. 根据权利要求 30 所述的方法, 其还包括设置一第二均压管路的步骤, 该第二均压管路与多个吸附容器中的每一吸附容器相连, 第一压力平衡步骤和第二压力平衡步骤是通过第一均压管路和第二均压管路进行的。

34. 根据权利要求 33 所述的方法, 其还包括设置一第二阀门的步骤, 该第二阀门使第二均压管路与多个吸附容器中第一吸附容器实现流路连接, 该第二阀门不阻止流体沿第二均压管路流向多个吸附容器中其余的任何吸附容器。

35. 根据权利要求 34 所述的方法, 其中, 第一阀门当处于开启状态时具有第一预定流速, 第二阀门当处于开启状态时具有第二预定流速, 第一预定流速不同于第二预定流速。

36. 根据权利要求 30 所述的方法, 其还包括设置一第二均压管路的步骤, 该第二均压管路与多个吸附容器中的每一吸附容器相连, 其中, 第一压力平衡步骤和第二压力平衡步骤是通过第一均压管路进行的, 第三压力平衡步骤和并行减压步骤是通过第二均压管路进行的。

37. 根据权利要求 20 所述的方法, 其中, 每一吸附容器都具有:
一第一开口, 其通过第一阀门与一气源进气歧管相连接, 并通过第二阀门与一废气排气歧管相连接; 以及

一第二开口, 其通过第三阀门与一产品排气歧管相连接, 并通过第四阀门和第五阀门与一均压管路相连接, 均压管路与多个吸附容器中的每一吸附容器相连接。

38. 根据权利要求 37 所述的方法, 其中, 第四、第五阀门不阻止流体沿均压管路流向多个吸附容器中其余的任何吸附容器。

39. 根据权利要求 37 所述的方法, 其中, 第四阀门当处于开启状态时具有第一预定流速, 第五阀门当处于开启状态时具有第二预定流速, 第一预定流速不同于第二预定流速。

40. 一种变压吸附系统, 其包括:

多个吸附容器, 每一吸附容器都具有:

一第一开口, 其通过第一阀门与一气源进气歧管相连接, 并通过第二阀门与一废气排气歧管相连接; 以及

一第二开口, 其通过第三阀门与一产品排气歧管相连接, 并通过第四阀门和第五阀门与一均压管路相连接, 所述均压管路与多个吸附容器中的每一吸附容器相连,

其中, 所述变压吸附系统中每个所述吸附容器的阀门数都不超过 5 个。

41. 根据权利要求 40 所述的变压吸附系统, 其中, 所述第四、第五阀门不阻止流体沿所述均压管路流向多个所述吸附容器中其余的任何吸附容器。

42. 根据权利要求 40 所述的变压吸附系统, 其中, 所述第四阀门当处于开启状态时具有第一预定流速, 所述第五阀门当处于开启状态时具有第二预定流速。

43. 根据权利要求 42 所述的变压吸附系统, 其中, 所述第一预定流速不同于所述第二预定流速。

44. 一种变压吸附系统, 其包括:

多个吸附容器，每一吸附容器都具有：

一第一开口，其通过第一阀门与一气源进气歧管相连接，并通过第二阀门与一废气排气歧管相连接；以及

一第二开口，其通过第三阀门与一产品排气歧管相连接，并通过第四阀门和第五阀门与一均压管路相连接，所述均压管路与多个吸附容器中的每一吸附容器相连，

其中，所述第四阀门当处于开启状态具有第一预定流速；以及所述第五阀门在处于开启状态时具有第二预定流速。

45. 根据权利要求 44 所述的变压吸附系统，其中，所述第四、第五阀门不阻止流体沿所述均压管路流向多个所述吸附容器中其余的任何吸附容器。

46. 根据权利要求 44 所述的变压吸附系统，其中，所述第一预定流速不同于所述第二预定流速。

47. 根据权利要求 44 所述的变压吸附系统，其中，所述变压吸附系统中多个所述吸附容器中的每个吸附容器的阀门数不超过 5 个。

48. 一种变压吸附系统，其包括：

至少五个吸附容器，每一吸附容器都具有：

一第一开口，其通过第一阀门与一气源进气歧管相连接，并通过第二阀门与一废气排气歧管相连接；以及

一第二开口，其通过第三阀门与一产品排气歧管相连接，并通过第四阀门与一均压管路相连接，所述均压管路与各个吸附容器都相连，

其中，所述变压吸附系统中每个所述吸附容器的阀门数都不超过 4 个。

49. 根据权利要求 48 所述的变压吸附系统，其中，所述变压吸附系统包括六个吸附容器。

50. 根据权利要求 48 所述的变压吸附系统，其中，所述第四阀门不阻止流体沿所述均压管路流向其它任何吸附容器。

51. 一种变压吸附方法，其包括以下步骤：

通过在设于多个吸附容器中的吸附床上对至少一种气体组分进行吸附而分离气体混合物，

其中，初始时利用一适于 n 个吸附容器的变压吸附循环来执行所述分离步骤，其中， n 是初始时进行工作以执行分离步骤的吸附容器数目；以及

当至少某一特定吸附容器及与该特定吸附容器直接相关的阀门出现故障时，通过绕过所述的特定吸附容器，利用适于 $n-1$ 个吸附容器的变压吸附循环来执行所述分离步骤。

52. 根据权利要求 51 所述的变压吸附方法，其中，分离步骤具有至少两级压力平衡操作，且每一吸附容器完成分离步骤所用的阀门数不超过 5 个。

53. 一种变压吸附方法，其通过在设于多个吸附容器中的吸附床上对至少一种气体组分进行吸附而分离气体混合物，其中，多个吸附容器是循环工作的，所述方法包括：

吸附步骤；

第一压力平衡步骤，其具有至少两级操作，第一压力平衡步骤降低压力；

吹洗步骤；以及

第二压力平衡步骤，其具有至少两级操作，第二压力平衡步骤升高压力，

其中，初始时利用一适于 n 个吸附容器的变压吸附循环来执行所述方法，其中， n 是初始时进行工作以执行所述方法的吸附容器数目；以及

当至少某一特定吸附容器及与该特定吸附容器直接相关的阀门出现故障时，通过绕过所述的特定吸附容器，利用适于 $n-1$ 个吸附容器的变压吸附循环来执行所述方法。

54. 根据权利要求 53 所述的变压吸附方法，其中，每一吸附容器完成所述方法所用的阀门数不超过 5 个。

高回收率的 PSA 循环及复杂性降低的设备

技术领域

本发明涉及变压吸附系统及用于执行变压吸附的方法。

背景技术

变压吸附 (PSA) 是一种用于对气体混合物执行分馏的技术, 该技术用于提供至少一种提纯气体产品和副产品混合物残液。PSA 技术已被成功地用于从其它气体中分离氢气、从空气中分离氧气和氮气、以及从天然气中分离氮气、以及其它的分离操作。

早期的 PSA 系统通常采用四个并行工作的吸附容器 (adsorbent vessel)。在授予 Wagner 的第 3430418 号美国专利中公开了这种系统的一种实例。在后来对 Wagner 所提工艺的一些改进方案中, 在保留四个吸附床的条件下, 增加一个另外的压力均衡步骤 (例如参见授予 Batta 的第 3564816 号美国专利), 而在随后授予 Fuderer 等人的第 3986849 号美国专利中, 对于七个或更多个吸附床, 甚至增设了更多个压力均衡步骤。增加压力均衡步骤和吸附容器数目的目的是为了提提高产品的回收率和吸附剂的生产率。但不幸的是, 性能的提高要伴随着所需阀门数目的增加, 阀门数目从 Wagner 工艺的 31 个增加到 Batta 工艺的 33 个, 而 Fuderer 等人提出的工艺最少需要 44 个阀门。

通常基于几条标准来测量 PSA 循环的性能。这些标准首先是指在一给定的混杂度条件下产品的回收率, 其中的回收率是指对总原料流中被当作提纯产品输送的产品种类执行分馏时的比率。第二条测量标准是吸附剂的生产率, 这一标准与 PSA 循环输送产品时的时间长度在工艺循环总长度中所占的比例相关。为了能对于固定不变的供料组分提高上述两指标中的一者或全部, 其它一些系统中已描述很多措施。

Wagner 的专利描述了这样的方案: 采用存储在加压床中的气体对已经过吹洗的那一个吸附容器再次加压, 随后, 在第一吸附容器中

的压力尚未消失之前，对另一吸附容器执行吹洗。后来，**Batta** 提出了这样的措施：可在第一压力均衡步骤之外增设一第二压力均衡步骤，这将能有针对性地提高回收率。**Batta** 在其所提出的工艺循环中保留了提供吹洗气体的设计。**Fuderer** 等人将这种方案扩展为设置第三级压力均衡步骤，并指出：从吸附床抽吸出的最纯的气体始终应当是允许进入被再升压的其它吸附床的最后一种气体。**Batta** 的四容器型循环被设计成这样：使得纯度较低的气体允许进入到被加压的吸附容器中，其中，该气体的纯度低于实际所希望的纯度。另外，**Fuderer** 等人的发明能实现比先前工艺循环更高的吸附剂生产率，其原因在于：由于对阀门开关动作的逻辑作了很多详细的设计，循环周期中分配到吸附操作的分馏时间得到了增加。

尽管这些方法有利于达到优异的产品回收率和吸附剂生产率，但却是以增加高度的工艺复杂程度为代价而实现的。**Wagner** 最初的工艺采用了四个吸附容器和三十一一个阀门，以便于执行一次均压，并对另一吸附容器执行吹洗。**Batta** 将阀门的总数增加到三十三个，并利用四个吸附容器来完成其两级压力平衡的工艺循环。在这两种工艺中，四床型循环从给定的吸附容器产生出气体的时间均占 25%。**Batta** 还设计了一种五容器型系统，其带有 43 个阀门，用于对均压操作重新进行排序，从而可利用纯度不断提高的气体实现理想的再升压。对于某一给定的吸附容器，该循环的时间只占 20%。**Fuderer** 等人提出的最为简单的循环执行三次压力平衡和一次吹洗步骤，该循环需要 9 个吸附容器和 55 个阀门。该循环的时间占 33%，此比例显著地高于 **Batta** 和 **Wagner** 的工艺循环。尽管这些工艺循环达到了回收率和生产率的临界区，但却是以增加机构的复杂性为代价实现的。复杂性的增加伴随着系统体积、质量的增大，并伴随着装配工时和投资成本的增加。另外，随着时间的推移，阀门数目的极大增加会显著降低 PSA 系统的可靠性，由于这些 PSA 系统均属于单点故障系统，因而，如果一个阀门失效就需要将整套系统停机。

人们已进行了一些努力来降低系统的复杂性，以便于处理由复杂

性所带来的问题。授予 Stöcker 的第 4761165 号美国专利利用四个吸附容器和 18 个阀门来实施 Wagner 的工艺流程，在其中的 18 个阀门中，四个阀门可以是比例控制阀。授予 Duhayer 等人的第 6146450 号美国专利描述了通过优化地布置管路配件来降低复杂性的措施，但这种方案在阀门和吸附容器的数目方面并未实质性地改变了 PSA 循环。在由发明人 Franklin D.Lomax, Jr 等人提出的、发明名称为“用于变压吸附的方法和设备”（METHOD AND APPARATUS FOR PRESSURE SWING ADSORPTION）的专利申请中，描述了非常显著的机构简化，上述的申请是与本申请同时提交的，其基于发明名称为“用于变压吸附的改进的方法和设备”（IMPROVED METHOD AND APPARATUS FOR PRESSURE SWING ADSORPTION）的第 60/370702 号美国临时申请（其提交日为 2002 年 4 月 9 日）。

尽管 Stöcker 所提出的工艺流程使 Wagner 的工艺在所使用阀门的数目方面实现了有意义的简化，但并未披露完成二次或三次均压、以提高回收率的措施，也未介绍吸附剂生产率的提高。事实上，Duhayer 等人和 Lomax 等人提出的机构简化方案实质上对任何 PSA 循环都是有利的，且未具体地提示如何在不增加所用阀门和吸附容器（如 Batta、Fuderer 等人所教导的方案）数目的情况下减少原有的阀门或改变工艺循环，以提高回收率或吸附剂生产率。另外，所有这些技术方案都未从根本上改变 PSA 的可靠性—原因在于基本的工艺循环仍然属于单点故障系统。

发明内容

本发明有利地提供了一种改进的 PSA 工作循环，其可降低 PSA 设备的复杂性。

另外，有利地是，本发明提供了一种通用的方法，其通过采用并行的均压流体管路而简化了 PAS 循环，以优化产品回收率和吸附剂生产率的，同时还降低了机构的复杂性。

有利地是，本发明提供了一种用于按照容错方式运行改进后的 PSA 循环的方法，在此方式中，单个阀门的故障将不再要求系统停机。

有利地是，本发明提供了一种变压吸附工艺，其包括步骤：通过利用设置在多个吸附容器中的吸附床对至少一种气体组分进行吸附而分离一气体混合物，其中，分离步骤具有至少两级压力平衡操作，且对于多个吸附容器，每一吸附容器完成分离步骤所用的阀门数不超过5个。

有利地是，本发明还提供了一种变压吸附工艺，其通过利用设置在多个吸附容器中的吸附床对至少一种气体组分进行吸附而分离一气体混合物，其中，多个吸附容器是循环工作的。所述工艺包括：一吸附步骤；一第一压力平衡步骤，其具有至少两级操作，其中，第一压力平衡步骤是降低压力的步骤；一吹洗步骤；以及一第二压力平衡步骤，其具有至少两级操作，该第二压力平衡步骤是升高压力的步骤。多个吸附容器中每一吸附容器完成此工艺所用阀门数都不超过5个。

有利地是，本申请还提出了一种变压吸附系统，其包括多个吸附容器，每一吸附容器都具有：一第一开口，其通过一第一阀门与一气源进气歧管相连接，并通过一第二阀门与一废气排气歧管相连接；以及一第二开口，其通过一第三阀门与一产品排气歧管相连接，并通过一第四阀门和第五阀门与一均压管路相连接。均压管路与各个吸附容器都相连。

另外，有利地是，本申请提出了一种变压吸附系统，其包括多个吸附容器，每一吸附容器都具有：一第一开口，其通过一第一阀门与一气源进气歧管相连接，并通过一第二阀门与一废气排气歧管相连接；以及一第二开口，其通过一第三阀门与一产品排气歧管相连接，并通过一第四阀门和第五阀门与一均压管路相连接。均压管路与各个吸附容器都相连。第四阀门当处于开启状态具有第一预定流速，第五阀门在处于开启状态时具有第二预定流速。

附图说明

参照下文结合附图所作的详细描述，可更加全面地领会本发明，并更加清楚地认识到本发明所带的优点，在附图中；

图1是具有两级压力平衡操作的四吸附容器型变压吸附（PSA）

循环的循环图；

图 2 表示了用于执行图 1 所示四容器 PSA 循环的改进的 PSA 系统的阀门设置方案；

图 3 表示了具有两级压力平衡操作的五吸附容器型 PSA 循环的循环图；

图 4 表示了用于执行图 3 所示五容器型 PAS 循环的改进的 PSA 系统的阀门设置方案；

图 5 表示了具有三级压力平衡操作的六吸附容器型 PSA 循环的循环图；

图 6 表示了用于执行图 5 所示六容器型 PAS 循环的改进的 PSA 系统的阀门设置方案；

图 7 表示了具有三级压力平衡操作的七吸附容器型 PSA 循环的循环图；

图 8 表示了用于执行图 7 所示七容器型 PAS 循环的改进的 PSA 系统的阀门设置方案；以及

图 9 表示了用于本发明的阀门歧管，图中被遮挡住的特征由虚线表示。

具体实施方式

下面将参照附图对本发明的实施方式展开描述。在附图中，功能和设置基本上相同的组成元件由相同的附图标记指代，且只有在必要时才对这些相同元件作重复的描述。

图 1 表示了具有两级压力平衡操作的四吸附容器型变压吸附（PSA）循环的循环流程。图 2 表示了可用来执行图 1 所示四容器型 PSA 循环的改进的 PSA 系统 1A 的阀门设置方案。

如图 2 所示，PSA 系统 1A 包括一第一吸附容器 10、一第二吸附容器 20、一第三吸附容器 30 以及一第四吸附容器 40。每一吸附容器通常都包括一吸附材料床。吸附容器 10、20、30、40 以并联流动关系连接在气源歧管 100 与产品歧管 102 之间，其中的气源歧管用来输送原料气体混合物，产品歧管则为未被吸附的产品排出气体提供了出口。

吸附容器 10、20、30、40 还与一废气歧管 104 相连，其为被吸附的组分提供了出口。

每个吸附容器 10、20、30、40 的下端分别具有一下部开口 12、22、32、42。下部开口 12、22、32、42 分别通过管路 11、21、31、41 与气源歧管 100 相连接。管路 11、21、31 和 41 上分别带有阀门 10A、20A、30A 和 40A，这些阀门对气源歧管 100 与各个吸附容器 10、20、30 以及 40 之间的流体流进行控制。下部开口 12、22、32 和 42 分别通过管路 13、23、33、43 与废气歧管 104 相连接。管路 13、23、33 和 43 上分别带有阀门 10E、20E、30E 和 40E，这些阀门对废气歧管 104 与各个吸附容器 10、20、30 以及 40 之间的流体流进行控制。

另外，每个吸附容器 10、20、30、40 的上端分别具有一上部开口 14、24、34、44。上部开口 14、24、34 和 44 分别通过管路 15、25、35、45 与产品歧管 102 相连接。管路 15、25、35 和 45 上分别具有阀门 10B、20B、30B、40B，这些阀门对产品歧管 102 与各个吸附容器 10、20、30 以及 40 之间的流体流进行控制。

上部开口 14、24、34、44 可通过一条或多条管路与均压管路 106 相连接，且这些管路上都带有一个阀门。优选地是，吸附容器 10 的上部开口 14 通过一第一管路 16 和一第二管路 18 与均压管路 106 相连接。管路 16、18 上分别具有阀门 10C 和 10D，它们对均压管路 106 与吸附容器 10 之间的流体流进行控制。阀门 10C 和 10D 被设计成当处于开启状态时具有预定的流速，且优选地是，阀门 10C 和 10D 被设计成具有不同的预定流速。因而，在流体从均压管路 106（从其它吸附容器 20、30、40 中之一）流到该吸附容器 10 中的两级压力平衡操作过程中，其中一个阀门被设计成适于在第一级压力平衡操作中以第一预定流速开启，从而可实现理想的均压操作，而另一阀门（在另一阀门关闭或两阀门都开启的状态下）则被设计成适于在第二级压力平衡操作过程中以第二预定流速开启，从而可实现理想的均压操作，而不会在吸附容器和系统内产生不利的流体冲击，如果在系统内产生了很大的压力差或流速出现大的改变，则就会发生流体冲击现象。作为备选

方案,本发明的 PSA 系统可包括单条管路和单个阀门来将各个吸附容器与均压管路 106 连接起来,也可采用三套或更多的管路和阀门来连接各个吸附容器和均压管路 106,这取决于 PSA 系统所需的流动特性。PSA 系统 1A 的阀门可以是手动控制的,也可以由一控制系统自动进行控制,或者基于操作条件自动进行动作,其中的操作条件例如是预定的压力水平,阀门的控制方式也可以上述方式的组合形式。如果需要的话,还可将阀门设计成变流速的。

优选地是,按照与吸附容器 10 上部开口 14 类似的方式,阀门 20、30、40 的上部开口 24、34、44 与均压管路 106 进行连接。更具体来讲,吸附容器 20 的上部开口 24 通过一第一管路 26 和一第二管路 28 与均压管路 106 相连接,管路 26、28 上分别具有阀门 20C 和 20D,它们对均压管路 106 与吸附容器 20 之间的流体流进行控制。另外,吸附容器 30 的上部开口 34 通过一第一管路 36 和一第二管路 38 与均压管路 106 相连接,管路 36、38 上分别具有阀门 30C 和 30D,它们对均压管路 106 与吸附容器 30 之间的流体流进行控制。此外,吸附容器 40 的上部开口 44 通过一第一管路 46 和一第二管路 48 与均压管路 106 相连接,管路 46、48 上分别具有阀门 40C 和 40D,它们对均压管路 106 与吸附容器 40 之间的流体流进行控制。

优选地是,阀门 10C、10D、20C、20D、30C、30D、40C、40D 并不阻止流体沿均压管路 106 流动。

图 1 表示了具有两级压力平衡操作的四吸附容器型变压吸附 (PSA) 循环的循环流程,图 2 所示的 PSA 系统 1A 可执行该循环流程。为了简化讨论,将图 1 所示的 PSA 循环流程划分成二十四个时间单元。四个吸附容器 10、20、30、40 都按照相同的次序执行各个步骤,但是,各个吸附容器的步骤序列是相互错开的。下面将对吸附容器 10 的循环流程进行描述。

在时间单元 1 中,吸附容器 10 执行一吸附过程 (A),此时,阀门 10A、10B 处于开启状态,阀门 10C、10D、10E、20A、30A、40A、20B、30B 以及 40B 处于关闭状态。在时间单元 1 中,原料气混合物

流体被从气源歧管 100 经管路 11 输送给吸附容器 10 的开口 12, 该流体流经吸附容器 10 中的吸附床, 未被吸附的产品流体从开口 14 排出, 并经过管路 15 流向产品歧管 102。

在时间单元 2 到 6 中, 阀门 10A、10B 保持开启状态, 以使得吸附容器 10 继续执行吸附过程 (A), 阀门 40B 被移动到开启状态, 从而在吸附容器 10 中执行最终产品再升压步骤 (FP)。在最终产品再升压步骤中, 流体从产品歧管 102 沿管路 45、流经开口 44 流入到吸附容器 40 中。

在时间单元 7 中, 阀门 10A、10B 关闭, 阀门 10C、20C 被移动到开启状态, 以使两吸附容器 10 和 20 中的压力达到平衡。(为了简化描述, 在文中, 将阀门 10C、20C 作为均压步骤中使用的两个阀门, 但应当指出的是, 作为选择的方案, 均压步骤中也可使用阀门 10D 和 20D, 或阀门 10C 和 20D、或阀门 10D 和 20C)。在时间单元 7 中, 吸附容器 10 执行第一级压力平衡步骤 (E1D), 在该步骤中, 吸附容器 10 中的压力下降, 与此同时, 吸附容器 20 也执行第一级压力平衡步骤 (E1P), 在该步骤中, 吸附容器 20 中的压力升高。在时间单元 7 中, 吸附容器 10 中的流体从开口 14 流出, 并沿管路 16 流到均压管路 106 中, 然后再沿管路 26、经过开口 24 流入到吸附容器 20 中。

在时间单元 8 到 11 中, 阀门 20C 移动到关闭状态, 阀门 30C (或 30D) 移动到开启状态。在时间单元 8 到 11 中, 吸附容器 10 通过向吸附容器 30 提供吹洗气体来执行并行减压步骤 (PP), 通过开启阀门 30E, 该操作可对废气执行吹洗 (P), 由此使废气从吸附容器 30 中经管路 33 排出到废气歧管 104 中。在时间单元 8 到 11 中, 吸附容器 10 中的流体从开口 14 流出, 并沿管路 16 流到均压管路 106 中, 再沿管路 36、经开口 34 流入到吸附容器 30 中。利用从开口 32 排出、并沿管路 33 流向废气歧管 104 的流体, 吸附容器 30 获得了吹洗。

在时间单元 12 中, 吸附容器 10 继续向吸附容器 30 提供流体; 但是, 阀门 30E 被移动到了关闭状态, 以允许吸附容器 10 与吸附容器 30 实现压力均衡。在时间单元 12 中, 吸附容器 10 执行第二级压力平

衡步骤 (E2D), 在该步骤中, 吸附容器 10 中的压力下降, 与此同时, 吸附容器 30 执行第二级压力平衡步骤 (E2P), 在该步骤中, 吸附容器 30 中的压力升高。应当指出的是, 在时间单元 12 中, 可利用流速与阀门 10C 和 30C 不同的阀门 10D 和 30D 来执行第二级压力平衡步骤。于是, 在时间单元 12 中, 阀门 10C 和 30C 被关闭, 而阀门 10D 和 30D 被移动到开启状态。因而, 在时间单元 12 中, 吸附容器 10 中的流体从开口 14 流出, 并沿管路 18 流向均压管路 106, 然后再沿管路 38、经开口 34 流入到吸附容器 30 中。

在时间单元 13 中, 阀门 10D 被关闭, 阀门 10E 被移动到开启状态。在时间单元 13 中, 吸附容器 10 执行逆向排气步骤 (BD), 在该步骤中, 吸附容器 10 中的流体经开口 12 排出, 并沿管路 13 流向废气歧管 104。

在时间单元 14 到 17 中, 阀门 10E 保持在开启状态, 阀门 10D 和 40D (或 10C 和 40C, 这取决于所需的流速) 被移动到开启状态, 而阀门 20C、20D、30C 以及 30D 则被关闭。在时间单元 14 到 17 中, 吸附容器 40 通过向吸附容器 10 提供吹洗气体而执行并行减压 (PP) 操作, 该操作将废气经开启的阀门 10E 吹洗 (P) 出去, 由此将废气从吸附容器 10 经管路 13 排出到废气歧管 104 中。在时间单元 14 到 17 中, 吸附容器 40 中的流体从开口 14 流出, 并沿管路 48 流到均压管路 106 中, 然后再沿管路 18、经开口 14 流入到吸附容器 10 中。利用从开口 12 排出、并沿管路 13 流到废气歧管 104 中的流体, 吸附容器 10 获得了吹洗。

在时间单元 18 中, 吸附容器 40 继续向吸附容器 10 提供流体; 但是, 阀门 10E 被移动到关闭状态, 以使得吸附容器 10 中的压力与吸附容器 40 中的压力达到平衡。在时间单元 18 中, 吸附容器 40 执行第二级压力平衡步骤 (E2D), 在该步骤中, 吸附容器 40 的压力降低, 与此同时, 吸附容器 10 执行第二级压力平衡步骤 (E2P), 在该步骤中, 吸附容器 10 中的压力升高。在时间单元 18 中, 利用阀门 10D 和 40D 执行第二级压力平衡操作。因此, 在时间单元 18 中, 阀门 10D

和 40D 处于开启状态。因而，在时间单元 18 中，吸附容器 40 中的流体从开口 44 流出，并沿管路 48 流到均压管路 106 中，然后沿管路 18、经开口 14 流到吸附容器 10 中。

在时间单元 19 中，阀门 10D 和 40D 被关闭，阀门 10C 和 20C 移动到开启状态，以允许吸附容器 10、20 中的压力达到平衡。在时间单元 19 中，吸附容器 20 执行第一级压力平衡步骤 (E1D)，在该步骤中，吸附容器 20 中的压力降低，与此同时，吸附容器 10 执行第一级压力平衡步骤 (E1P)，在该步骤中，吸附容器 10 中的压力升高。在时间单元 19 中，吸附容器 20 中的流体从开口 24 流出，并沿管路 26 流到均压管路 106 中，然后沿管路 16、经开口 14 流到吸附容器 10 中。

在时间单元 20 到 24 中，阀门 10C 和 20C 被关闭，阀门 10B 移动到开启状态，以便于在吸附容器 10 中执行一个最终产品再升压步骤 (FP)。在最终产品再升压步骤 (FP) 中，流体从正在执行吸附步骤的吸附容器 30 中经管路 35 流向产品歧管 102，然后再从产品歧管 102 沿管路 15、经开口 14 流入到吸附容器 10 中。

其余的吸附容器 20、30、40 按照相同的步骤序列工作，但是，各个吸附容器所执行的步骤序列是相互错开的。其余各个吸附容器 20、30、40 的过程与上文针对吸附容器 10 所描述的过程类似；但是，那些需要吸附容器之间相互作用的各个步骤是由不同的吸附容器完成的，如由图 1 清楚展示的 PSA 循环图所示。

图 3 表示了具有两级压力平衡操作的五吸附容器型变压吸附 (PSA) 循环的循环图，图 4 表示了可用来执行图 3 所示五容器型 PSA 循环的改进的 PSA 系统 1B 的阀门设置方案。

图 4 表示了一种 PSA 系统 1B，其包括一第一吸附容器 10、一第二吸附容器 20、一第三吸附容器 30 以及一第四吸附容器 40，还包括那些与四容器型 PSA 系统 1A 中所述阀门和管路相对应的阀门和管路，为了简化描述，此处将不再对这些元件作详细描述。PSA 系统 1B 还包括一第五吸附容器 50，其内具有一吸附材料床。吸附容器 10、20、30、40 以及 50 以并联流动关系连接在气源歧管 100 与产品歧管 102

之间，其中的气源歧管被用来输送原料气体混合物，产品歧管则为未被吸附的产品排出气体提供了出口。吸附容器 10、20、30、40 以及 50 还与一废气歧管 104 相连，其为被吸附的组分提供了出口。

吸附容器 50 的下端具有一下部开口 52，该下部开口 52 通过管路 51 与气源歧管 100 相连接。管路 51 上带有一个阀门 50A，该阀门对气源歧管 100 与吸附容器 50 之间的流体流进行控制。下部开口 52 通过管路 53 与废气歧管 104 相连接。管路 53 上带有一个阀门 50E，该阀门对废气歧管 104 与吸附容器 50 之间的流体流进行控制。另外，吸附容器 50 的上端具有一上部开口 54，其通过管路 55 与产品歧管 102 相连接。管路 55 上具有一阀门 50B，该阀门对产品管路 102 与吸附容器 50 之间的流体流进行控制。

上部开口 54 可通过一条或多条管路与均压管路 106 相连接，且这些管路上都带有一个阀门。优选地是，吸附容器 50 的上部开口 54 通过一第一管路 56 和一第二管路 58 与均压管路 106 相连接。管路 56、58 上分别具有阀门 50C 和 50D，它们对均压管路 106 与吸附容器 50 之间的流体流进行控制。阀门 50C 和 50D 被设计成按照与上文针对四容器型 PSA 系统 1A 所描述的阀门 10C 和 10D 相同的方式进行工作。作为备选方案，本发明的 PSA 系统可采用单条管路和单个阀门来将各个吸附容器与均压管路 106 连接起来，也可采用三套或更多的管路和阀门来连接各个吸附容器和均压管路 106，这取决于 PSA 系统所需的流动特性。

图 3 表示了具有两级压力平衡操作的五吸附容器型变压吸附 (PSA) 循环的循环流程，图 4 所示的 PSA 系统 1B 可执行该循环流程。为了便于讨论，将图 3 所示的 PSA 循环划分成二十个时间单元。五个吸附容器 10、20、30、40、50 都按照相同的步骤序列执行各个步骤，但是，各个吸附容器的步骤序列是相互错开的。

图 3 所示 PSA 循环与图 1 所示 PSA 循环具有几方面显著的区别。例如，图 3 所示 PSA 循环将降低吸附容器中压力的第一级压力平衡步骤 (E1D) 与降低吸附容器中压力的第二级压力平衡步骤 (E2D) 都

设置在并行减压步骤 (PP) 之前。在图 1 所示的 PSA 循环中, 并行减压步骤 (PP) 是在第一级压力平衡步骤 (E1D) 之后、但在第二级压力平衡步骤 (E2D) 之前执行的。另外, 图 3 所示的 PSA 循环还包括几个保持步骤 (H), 在这些步骤中, 吸附容器被关闭, 从而既没有流体流入到吸附容器中, 从吸附容器中也不流出任何流体。在 PSA 循环中设置保持状态使得 PSA 系统 1B 能被设计为只具有一条均压管路。

应当指出的是: 在图 4 所示的 PSA 系统 1B 中, 如果其中的任一吸附容器或与其相关的阀门出现故障, 则 PSA 系统 1B 将通过将无效的吸附容器隔离开而如采用图 1 所示的 PSA 循环的四吸附容器型系统那样进行工作。事实上, PSA 系统这样就可以按照四容器型 PSA 模式继续工作 (虽然其性能有所降低)——直到问题被解决为止。有利地是, 这将能最优排定维护任务, 并减少系统的停机时间。

下面将对图 3 所示 PSA 循环中的吸附容器 10 的循环进行描述。

在时间单元 1 中, 阀门 10A、10B、10D、10E 处于关闭状态, 且阀门 10C 与 30C 处于开启状态, 从而允许吸附容器 10 与 30 中的压力达到平衡。在时间单元 1 中, 吸附容器 10 执行一第一级压力平衡步骤 (E1D), 在该步骤中, 吸附容器 10 中的压力被降低, 与此同时, 吸附容器 30 执行一第一级压力平衡步骤 (E1P), 在该步骤中, 吸附容器 30 中的压力被升高。在时间单元 1 中, 吸附容器 10 中的流体从开口 14 流出, 并沿管路 16 流向均压管路 106, 然后沿管路 36、经开口 34 流入到吸附容器 30 中。

在时间单元 2 中, 阀门 10C 与 30C 处于关闭状态, 阀门 10D、40D 处于开启状态, 从而使吸附容器 10 向吸附容器 40 输送流体, 以便于使吸附容器 10 中的压力与吸附容器 40 中的压力达到平衡。在时间单元 2 中, 吸附容器 10 执行一第二级压力平衡步骤 (E2D), 在该步骤中, 吸附容器 10 中的压力被降低, 与此同时, 吸附容器 40 执行一第二级压力平衡步骤 (E2P), 在该步骤中, 吸附容器 40 中的压力被升高。应当指出的是: 在时间单元 2 中, 采用与阀门 10C 和 40C 具有不同流速的阀门 10D 和 40D 来执行第二级压力平衡步骤。因而, 在时间

单元 2 中，吸附容器 10 中的流体从开口 14 流出，并沿管路 18 流向均压管路 106，然后沿管路 48、经开口 44 流入到吸附容器 40 中。

在时间单元 3 和 4 中，阀门 10D 和 50D（或阀门 50C）处于开启状态。在时间单元 3 和 4 中，吸附容器 10 通过向吸附容器 50 提供吹洗气体而执行一并行减压步骤（PP），通过将阀门 50E 开启，该操作可将废气吹洗出去，由此将废气从吸附容器 50 经管路 53 排出到废气歧管 104 中。在时间单元 3 和 4 中，吸附容器 10 中的流体从开口 14 流出，并沿管路 16 流向均压管路 106，然后沿管路 56、经开口 54 流入到吸附容器 50 中。通过使流体从开口 52 流出、并沿管路 53 流到废气歧管 104 中，就能实现对吸附容器 50 的吹洗。

在时间单元 5 中，阀门 10D 处于关闭状态，而阀门 10E 则处于开启状态。在时间单元 5 中，吸附容器 10 执行一逆向排气步骤（BD），在该步骤中，吸附容器 10 中的流体经开口 12 排出，并沿管路 13 流向废气歧管 104。

在时间单元 6 中，吸附容器 10 处于保持状态，在此状态下，所有的阀门 10A、10B、10C、10D 以及 10E 都处于关闭状态，没有任何流体经开口 12 和 14 流入吸附容器 10、或从吸附容器 10 中流出。

在时间单元 7 和 8 中，阀门 10E 处于开启状态，且阀门 10D 和 20D（或阀门 10C 和 20C，这取决于所需的流速）也处于开启状态。在时间单元 7 和 8 中，吸附容器 20 通过向吸附容器 10 输送吹洗气体来执行一并行减压步骤（PP），该操作将废气从开启的阀门 10E 吹出（P），由此将废气从吸附容器 10、经管路 13 排出到废气歧管 104 中。在时间单元 7 和 8 中，吸附容器 20 中的流体从开口 24 流出，并沿管路 28 流向均压管路 106，然后再沿管路 18、经开口 14 流入到吸附容器 10 中。利用从开口 12 排出、并沿管路 13 流向废气歧管 104 的流体，实现了对吸附容器 10 的吹洗操作。

在时间单元 9 中，吸附容器 10 处于保持状态，在此状态下，所有的阀门 10A、10B、10C、10D 以及 10E 都处于关闭状态，没有任何流体经开口 12 和 14 流入吸附容器 10、或从吸附容器 10 中流出。

在时间单元 10 中，阀门 10D 与 30D 处于开启状态，以便于使吸附容器 10 中的压力与吸附容器 30 中的压力达到平衡。在时间单元 10 中，吸附容器 30 执行一第二级压力平衡步骤（E2D），在该步骤中，吸附容器 30 中的压力被降低，与此同时，吸附容器 10 执行一第二级压力平衡步骤（E2P），在该步骤中，吸附容器 10 中的压力被升高。在时间单元 10 中，采用阀门 10D 和 30D 来执行第二级压力平衡步骤。因而，在时间单元 10 中，吸附容器 30 中的流体从开口 34 流出，并沿管路 38 流向均压管路 106，然后沿管路 18、经开口 14 流入到吸附容器 10 中。

在时间单元 11 和 12 中，吸附容器 10 处于保持状态，在此状态下，所有的阀门 10A、10B、10C、10D 以及 10E 都处于关闭状态，没有任何流体经开口 12 和 14 流入吸附容器 10、或从吸附容器 10 中流出。

在时间单元 13 中，阀门 10C 和 40C 处于开启状态，以便于使吸附容器 10 和 40 实现压力平衡。在时间单元 13 中，吸附容器 40 执行第一级压力平衡步骤（E1D），在该步骤中，吸附容器 40 中的压力被降低，与此同时，吸附容器 10 执行一第一级压力平衡步骤（E1P），在该步骤中，吸附容器 10 中的压力被升高。在时间单元 13 中，吸附容器 40 中的流体从开口 44 流出，并沿管路 46 流向均压管路 106，然后沿管路 16、经开口 14 流入到吸附容器 10 中。

在时间单元 14 到 16 中，阀门 10C 处于关闭状态，而阀门 10B 处于开启状态，以便在吸附容器 10 中执行最终产品再升压步骤（FP）。在最终产品再升压（FP）步骤中，流体从正在执行吸附步骤的吸附容器 50 中经管路流向产品歧管 102，然后再从产品歧管 102 沿管路 15、经开口 14 流入到吸附容器 10 中。

在时间单元 17 中，在阀门 10A 和 10B 处于开启状态、且阀门 10C、10D、10E、20A、30A、40A、50A、20B、30B、40B 以及 50B 处于关闭状态的情况下，吸附容器 10 执行一吸附过程（A）。在时间单元 17 中，原料气体混合物流体被从气源歧管 100、经管路 11 输送给吸附容器 10 的开口 12，流体流经吸附容器 10 中的吸附床，未被吸附的产

品流体从开口 14 排出，并沿管路 15 流向产品歧管 102。

在时间单元 18 到 20 中，阀门 10A、10B 保持在开启状态，从而使吸附容器 10 继续执行吸附过程 (A)，阀门 20B 被移动到开启状态，以便在吸附容器 20 中执行最终产品再升压步骤 (FP)。在该最终产品再升压步骤中，流体从产品歧管 102 沿管路 25、并经开口 24 流入到吸附容器 20 中。

其余的吸附容器 20、30、40 以及 50 按照相同的步骤序列工作，但是，各个吸附容器所执行的步骤序列是相互错开的。其余各个吸附容器 20、30、40 以及 50 的过程与上文针对吸附容器 10 所描述的过程类似；但是，那些需要吸附容器之间相互作用的各个步骤是由不同的吸附容器完成的，如图 3 中清楚展示的 PSA 循环图所示。

图 5 表示了具有三级压力平衡操作的六吸附容器型变压吸附 (PSA) 循环的循环流程，图 6 表示了可用来执行图 5 所示六容器型 PSA 循环的改进的 PSA 系统 1C 的阀门设置方案。

图 6 表示了一种 PSA 系统 1C，其包括一第一吸附容器 10、一第二吸附容器 20、一第三吸附容器 30、一第四吸附容器 40 以及一第五吸附容器 50，系统还包括那些与上述系统中阀门和管路类似的对应阀门和管路，为了简化描述，此处将不再对这些元件作详细描述。PSA 系统 1C 还包括一第六吸附容器 60，其内具有一吸附材料床。吸附容器 10、20、30、40、50 以及 60 以并联流动关系连接在输送原料气体混合物的气源歧管 100 与产品歧管 102 之间，产品歧管为未被吸附的产品排出气体提供了出口。吸附容器 10、20、30、40、50 以及 60 还与一废气歧管 104 相连，其为被吸附的组分提供了出口。

吸附容器 60 的下端具有一下部开口 62，该开口 62 通过管路 61 与气源歧管 100 相连接。管路 61 上带有一个阀门 60A，该阀门对气源歧管 100 与吸附容器 60 之间的流体流进行控制。下部开口 62 通过管路 63 与废气歧管 104 相连接。管路 63 上带有一个阀门 60E，该阀门对废气歧管 104 与吸附容器 60 之间的流体流进行控制。另外，吸附容器 60 的上端具有一上部开口 64，其通过管路 65 与产品歧管 102 相连

接。管路 65 上具有一阀门 60B，该阀门对产品管路 102 与吸附容器 60 之间的流体流进行控制。

上部开口 64 可通过一条或多条管路与均压管路 106 相连接，且这些管路上都带有一个阀门。优选地是，在图 6 所示的六容器型 PSA 系统 1C 中，各个上部开口 14、24、34、44、54 以及 64 分别通过管路 18、28、38、48、58 以及 68 与均压管路 106 相连。管路 18、28、38、48、58 以及 68 上分别带有阀门 10D、20D、30D、40D、50D 以及 60D，这些阀门分别对均压管路 106 与吸附容器 10、20、30、40、50 以及 60 之间的流体流执行控制。阀门 10D、20D、30D、40D、50D 以及 60D 被设计成按照与上文针对四容器型 PSA 系统 1A 所描述的阀门 10C 和 10D 相同的方式进行工作。作为备选方案，本发明的 PSA 系统可采用多条管路和多个阀门来将各个吸附容器与均压管路 106 连接起来，这取决于 PSA 系统所需的流动特性。

图 5 表示了具有三级压力平衡操作的六吸附容器型变压吸附 (PSA) 循环的循环流程，图 6 所示的 PSA 系统 1C 可执行该循环流程。为了便于讨论，将图 5 所示的 PSA 循环划分成二十四个时间单元。六个吸附容器 10、20、30、40、50 以及 60 中的每一个都按照相同的步骤序列执行各个步骤，但是，各个吸附容器的步骤序列是相互错开的。

图 5 所示 PSA 循环与图 3 所示 PSA 循环具有一些显著的区别。更具体来讲，图 5 所示的 PSA 循环有利地应用了三级压力平衡操作，以便于大体上减小系统（特别是吸附床）中的流体冲击，由此可提高吸附材料的使用寿命。按照图 5 所示的 PSA 循环，无须具有将各个吸附容器与均压管路 106 连接起来的第二阀门，这将进一步降低 PSA 系统 1C 的复杂性。在 PSA 循环中所具有的保持状态使得 PSA 系统 1C 可以只带有一条均压管路。

应当指出的是，在图 6 所示的 PSA 系统 1C 中，如果其中的任一个或多个吸附容器或与其相关的阀门出现故障，则 PSA 系统 1C 将通过将无效的一个或多个吸附容器隔离开而如采用图 1 所示 PSA 循环的

四吸附容器型系统、或如采用图 3 所示 PSA 循环的五容器型系统那样进行工作。事实上，PSA 系统这样就可以按照四容器型 PSA 模式或五容器型 PSA 模式继续工作——直到问题被解决为止。但是，应当指出的是，为了最为有效地执行图 1 和图 3 所示的 PSA 循环，PSA 系统 1C 中应当设置有另外的阀门 10C、20C、30C、40C、50C、60C，这些阀门将吸附容器 10、20、30、40、50 以及 60 分别连接到均压管路 106 上。作为备选方案，也可只利用现有的阀门 10D、20D、30D、40D、50D 以及 60D 执行所有的均压步骤，由此使 PSA 系统 1C 完成了图 1 和图 3 所示的 PSA 循环。

下面将对图 5 所示 PSA 循环中吸附容器 10 的循环流程进行描述。

在时间单元 1 到 3 中，在阀门 10A 和 10B 处于开启状态以及阀门 10D、10E、20A、30A、40A、50A、60A、20B、30B、40B、50B 以及 60B 处于关闭状态的情况下，吸附容器 10 执行一吸附过程 (A)。在时间单元 1 到 3 中，原料气混合物流体被从气源歧管 100 通过管路 11 输送给吸附容器 10 的开口 12，该流体流经吸附容器 10 中的吸附床，未被吸附的产品流体从开口 14 流出，并通过管路 15 流到产品歧管 102 中。

在时间单元 4 中，阀门 10A、10B 保持开启状态，使得吸附容器 10 继续执行吸附过程 (A)，阀门 20B 被移动到开启状态，从而在吸附容器 20 中执行最终产品再升压步骤 (FP)。在最终产品再升压操作中，流体从产品歧管 102 沿管路 25、并经开口 24 流入到吸附容器 20 中。

在时间单元 5 和 6 中，在阀门 10A 和 10B 处于开启状态、阀门 20B 被移动到关闭状态的情况下，吸附容器 10 继续执行吸附过程 (A)。在时间单元 5 和 6 中，原料气体混合物流体被从气源歧管 100 经管路 11 输送给吸附容器 10 的开口 12，流体流经吸附容器 10 中的吸附床，未被吸附的产品流体从开口 14 流出，并通过管路 15 流到产品歧管 102 中。

在时间单元 7 中，阀门 10A、10B 以及 10E 处于关闭状态，阀门

10D 和 30D 处于开启状态，以允许吸附容器 10 与 30 中的压力达到平衡。在时间单元 7 中，吸附容器 10 执行一第一级压力平衡步骤(E1D)，在该步骤中，吸附容器 10 中的压力降低，与此同时，吸附容器 30 执行一第一级压力平衡步骤(E1P)，在该步骤中，吸附容器 30 中的压力被升高。在时间单元 7 中，吸附容器 10 中的流体从开口 14 流出，并沿管路 18 流到均压管路 106 中，然后再沿管路 38、经开口 34 流到吸附容器 30 中。

在时间单元 8 中，阀门 30D 处于关闭状态，阀门 10D 和 40D 处于开启状态，从而使得吸附容器 10 向吸附容器 40 输送流体，以便于使吸附容器 10 与 40 中的压力达到平衡。在时间单元 8 中，吸附容器 10 执行一第二级压力平衡步骤(E2D)，在该步骤中，吸附容器 10 中的压力被降低，与此同时，吸附容器 40 执行一第二级压力平衡步骤(E2P)，在该步骤中，吸附容器 40 的压力被升高。因而，在时间单元 8 中，吸附容器 10 中的流体从开口 14 中流出，并沿管路 18 流到均压管路 106 中，然后沿管路 48、经开口 44 流到吸附容器 40 中。

在时间单元 9 中，阀门 40D 处于关闭状态，阀门 10D 和 50D 处于开启状态，以使得吸附容器 10 向吸附容器 50 输送流体，以便于使吸附容器 10 与 50 中的压力达到平衡。在时间单元 9 中，吸附容器 10 执行一第三级压力平衡步骤(E3D)，在该步骤中，吸附容器 10 中的压力被降低，与此同时，吸附容器 50 执行一第三级压力平衡步骤(E3P)，在该步骤中，吸附容器 50 中的压力被升高。因而，在时间单元 9 中，吸附容器 10 中的流体从开口 14 中流出，并沿管路 18 流到均压管路 106 中，然后沿管路 58、经开口 54 流到吸附容器 50 中。

在时间单元 10 中，阀门 50D 处于关闭状态，阀门 10D 和 60D 处于开启状态。在时间单元 10 中，吸附容器 10 通过向吸附容器 60 输送吹洗气体而执行一并行减压步骤(PP)，通过将阀门 60E 开启，该操作可将废气吹洗出去，由此将废气从吸附容器 60 经管路 63 排出到废气歧管 104 中。在时间单元 10 中，吸附容器 10 中的流体从开口 14 流出，并沿管路 18 流向均压管路 106，然后沿管路 68、经开口 64 流

入到吸附容器 60 中。通过从开口 62 流出、并沿管路 63 流到废气歧管 104 中的流体，就能实现对吸附容器 60 的吹洗。

在时间单元 11 中，阀门 10D 处于关闭状态，且阀门 10E 处于开启状态。在时间单元 11 中，吸附容器 10 执行一逆向排气步骤 (BD)，在该步骤中，吸附容器 10 中的流体从开口 12 排出，并沿管路 13 流向废气歧管 104。

在时间单元 12、13 中，吸附容器 10 处于保持状态，在此状态下，所有的阀门 10A、10B、10D 以及 10E 都处于关闭状态，没有任何流体经开口 12 和 14 流入吸附容器 10、或从吸附容器 10 中流出。

在时间单元 14 中，阀门 10E 处于开启状态，阀门 10D 和 20D 也处于开启状态。在时间单元 14 中，吸附容器 20 通过向吸附容器 10 输送吹洗气体而执行并行减压 (PP) 操作，该操作将废气从开启的阀门 10E 扫吹 (P) 出去，由此将废气从吸附容器 10 经管路 13 排出到废气歧管 104 中。在时间单元 14 中，吸附容器 20 中的流体从开口 24 流出，并沿管路 28 流到均压管路 106 中，然后再沿管路 18、经开口 14 流到吸附容器 10 中。利用从开口 12 排出、并沿管路 13 流到废气歧管 104 中的流体，吸附容器 10 获得了吹洗。

在时间单元 15、16 中，吸附容器 10 处于保持状态，在此状态下，所有的阀门 10A、10B、10D 以及 10E 都处于关闭状态，没有任何流体经开口 12 和 14 流入吸附容器 10、或从吸附容器 10 中流出。

在时间单元 17 中，阀门 10D 和 30D 处于开启状态，以便于使吸附容器 10 与 30 中的压力达到平衡。在时间单元 17 中，吸附容器 30 执行一第三级压力平衡步骤 (E3D)，在该步骤中，吸附容器 30 中的压力被降低，与此同时，吸附容器 10 执行一第三级压力平衡步骤 (E3P)，在该步骤中，吸附容器 10 中的压力被升高。在时间单元 17 中，利用阀门 10D 和 30D 执行了第三级压力平衡步骤。因而，在时间单元 17 中，吸附容器 30 中的流体从开口 34 中流出，并沿管路 38 流到均压管路 106 中，然后沿管路 18、经开口 14 流到吸附容器 10 中。

在时间单元 18、19 中，吸附容器 10 处于保持状态，在此状态下，

所有的阀门 10A、10B、10D 以及 10E 都处于关闭状态，没有任何流体经开口 12 和 14 流入吸附容器 10、或从吸附容器 10 中流出。

在时间单元 20 中，阀门 10D 和 40D 处于开启状态，以便于使吸附容器 10 与 40 中的压力达到平衡。在时间单元 20 中，吸附容器 40 执行一第二级压力平衡步骤 (E2D)，在该步骤中，吸附容器 40 中的压力被降低，与此同时，吸附容器 10 执行一第二级压力平衡步骤 (E2P)，在该步骤中，吸附容器 10 中的压力被升高。在时间单元 20 中，利用阀门 10D 和 40D 执行了第二级压力平衡步骤。因而，在时间单元 10 中，吸附容器 40 中的流体从开口 44 中流出，并沿管路 48 流到均压管路 106 中，然后沿管路 18、经开口 14 流到吸附容器 10 中。

在时间单元 21、22 中，吸附容器 10 处于保持状态，在此状态下，所有的阀门 10A、10B、10D 以及 10E 都处于关闭状态，没有任何流体经开口 12 和 14 流入吸附容器 10、或从吸附容器 10 中流出。

在时间单元 23 中，阀门 10D 和 50D 处于开启状态，以便于使吸附容器 10 与 50 中的压力达到平衡。在时间单元 23 中，吸附容器 50 执行一第一级压力平衡步骤 (E1D)，在该步骤中，吸附容器 50 中的压力被降低，与此同时，吸附容器 10 执行一第一级压力平衡步骤 (E1P)，在该步骤中，吸附容器 10 中的压力被升高。在时间单元 23 中，吸附容器 50 中的流体从开口 54 中流出，并沿管路 58 流到均压管路 106 中，然后沿管路 18、经开口 14 流到吸附容器 10 中。

在时间单元 24 中，阀门 10D 处于关闭状态，阀门 10B 处于开启状态，以便于在吸附容器 10 中执行一最终产品再升压步骤 (FP)。在最终产品再升压步骤 (FP) 中，流体从正在执行吸附步骤的吸附容器 60 中经管路流向产品歧管 102，然后再从产品歧管 102 沿管路 15、经开口 14 流入到吸附容器 10 中。

其余的吸附容器 20、30、40、50 以及 60 按照相同的步骤序列工作，但是，各个吸附容器所执行的步骤序列是相互错开的。其余各个吸附容器 20、30、40、50 以及 60 的过程与上文针对吸附容器 10 所描述的过程类似；但是，那些需要吸附容器之间相互作用的各个步骤是

由不同的吸附容器完成的，由图 5 清楚展示的 PSA 循环流程图所示。

图 7 表示了具有三级压力平衡操作的七吸附容器型变压吸附 (PSA) 循环的循环流程，图 8 表示了可用来执行图 7 所示七容器型 PSA 循环的改进的 PSA 系统 1D 的阀门设置方案。

图 8 表示了一种 PSA 系统 1D，其包括一第一吸附容器 10、一第二吸附容器 20、一第三吸附容器 30、一第四吸附容器 40、一第五吸附容器 50 以及一第六吸附容器 60，这些吸附容器与上述系统相同，为了简化描述，此处不再作详细描述。PSA 系统 1D 还包括一第七吸附容器 70，其内具有一吸附材料床。吸附容器 10、20、30、40、50、60 以及 70 以并联流动关系连接在输送原料气体混合物的气源歧管 100 与产品歧管 102 之间，产品歧管为未被吸附的产品排出气体提供了出口。吸附容器 10、20、30、40、50、60 以及 70 还与一废气歧管 104 相连，其为被吸附的组分提供了出口。

吸附容器 70 的下端具有一下部开口 72，该开口 72 通过管路 71 与气源歧管 100 相连接。管路 71 上带有一个阀门 70A，该阀门对气源歧管 100 与吸附容器 70 之间的流体流进行控制。下部开口 72 通过管路 73 与废气歧管 104 相连接。管路 73 上带有一个阀门 70E，该阀门对废气歧管 104 与吸附容器 70 之间的流体流进行控制。另外，吸附容器 70 的上端具有一上部开口 74，其通过管路 75 与产品歧管 102 相连接。管路 75 上具有一阀门 70B，该阀门对产品歧管 102 与吸附容器 70 之间的流体流进行控制。

七吸附容器型 PSA 系统 1D 的这种优选实施方式包括一第一均压管路 108 和一第二均压管路 110。上部开口 14、24、34、44、54、64 以及 74 可通过一条或多条管路与均压管路 108 和 110 相连接，且每一管路上都带有一个阀门。优选地是，上部开口 14、24、34、44、54、64 以及 74 分别通过第一管路 16、26、36、46、56、66 以及 76 与第一均压管路 108 相连。第一管路 16、26、36、46、56、66 以及 76 上分别带有阀门 10C、20C、30C、40C、50C、60C 以及 70C，这些阀门分别对第一均压管路 108 与吸附容器 10、20、30、40、50、60 以及

70 之间的流体流执行控制。优选地是，上部开口 14、24、34、44、54、64 以及 74 分别通过第二管路 18、28、38、48、58、68 以及 78 与第二均压管路 110 相连。第二管路 18、28、38、48、58、68 以及 78 上分别带有阀门 10D、20D、30D、40D、50D、60D 以及 70D，这些阀门分别对第二均压管路 110 与吸附容器 10、20、30、40、50、60 以及 70 之间的流体流执行控制。阀门 70C 和 70D 被设计成按照与上文针对四容器型 PSA 系统 1A 所描述的阀门 10C 和 10D 相同的方式进行工作。作为备选方案，本发明的 PSA 系统可采用多条管路和多个阀门来将每个吸附容器与各均压管路 108 和 110 连接起来，这取决于 PSA 系统所需的流动特性。

图 7 表示了具有三级压力平衡操作的七吸附容器型变压吸附 (PSA) 循环的循环流程，图 8 所示的 PSA 系统 1D 可执行该循环流程。为了便于讨论，将图 7 所示的 PSA 循环流程划分成二十一个时间单元。七个吸附容器 10、20、30、40、50、60 以及 70 中的每一个都按照相同的次序执行各个步骤，但是，各个吸附容器的步骤序列是相互错开的。

图 7 所示的 PSA 循环有利地应用了三级压力平衡方法，以便于大体上减小系统（特别是吸附床）中的流体冲击，由此可提高吸附材料的工作寿命。按照图 7 所示的 PSA 循环，无须设置将各个吸附容器与均压管路连接起来的第二个阀门，这将降低 PSA 系统 1D 的复杂性。PSA 系统 1D 包括两条独立的均压管路 108 和 110，这就使得图 7 中的 PSA 循环可不带有任何保持状态，从而在大体上增加了各个吸附容器中为吸附步骤所分配的时间。

应当指出的是，在图 8 所示的 PSA 系统 1D 中，如果其中的一个或多个吸附容器或与其相关的阀门出现故障，则 PSA 系统 1D 通过将无效的一个或多个吸附容器隔离开而如采用图 1 所示 PSA 循环的四吸附容器型系统、或如采用图 3 所示 PSA 循环的五容器型系统、或如采用图 5 所示 PSA 循环的六容器型系统那样进行工作。事实上，PSA 系统这样就可以按照四容器型 PSA 模式、五容器型 PSA 模式、或六容

器型 PSA 模式继续工作一直到问题被解决为止。

下面将对图 7 所示 PSA 循环中吸附容器 10 的循环流程进行描述。

在时间单元 1 中，在阀门 10A 和 10B 处于开启状态且阀门 10C、10D、10E、20A、30A、40A、50A、60A、20B、30B、40B、50B 以及 60B 处于关闭状态的情况下，吸附容器 10 执行一吸附过程 (A)。在时间单元 1 中，原料气混合物流体被从气源歧管 100 通过管路 11 输送给吸附容器 10 的开口 12，该流体流经吸附容器 10 中的吸附床，未被吸附的产品流体从开口 14 流出，并通过管路 15 流到产品歧管 102 中。应当指出的是：此时吸附容器 70 也执行吸附步骤，且阀门 70A 和 70B 也处于开启状态。

在时间单元 2 和 3 中，阀门 10A、10B、70A、70B 保持开启状态，使得吸附容器 10 和 70 继续执行吸附过程 (A)，阀门 20B 被移动到开启状态，从而在吸附容器 20 中执行最终产品再升压步骤 (FP)。在最终产品再升压操作中，流体从产品歧管 102 沿管路 25、并经开口 24 流入到吸附容器 20 中。

在时间单元 4 到 6 中，在阀门 10A 和 10B 处于开启状态、阀门 20B 被移动到关闭状态的情况下，吸附容器 10 继续执行吸附过程 (A)。吸附容器 70 停止执行其吸附步骤，阀门 70A、70B 关闭。在时间单元 5 到 6 中，原料气体混合物流体被从气源歧管 100 经管路 11 输送给吸附容器 10 的开口 12，流体流经吸附容器 10 中的吸附床，未被吸附的产品流体从开口 14 流出，并通过管路 15 流到产品歧管 102 中。

在时间单元 7 中，阀门 10A、10B、10D 以及 10E 处于关闭状态，阀门 10C 和 40C 处于开启状态，以允许吸附容器 10 与 40 的内部压力达到平衡。在时间单元 7 中，吸附容器 10 执行一第一级压力平衡步骤 (E1D)，在该步骤中，吸附容器 10 中的压力降低，与此同时，吸附容器 40 执行一第一级压力平衡步骤 (E1P)，在该步骤中，吸附容器 40 中的压力被升高。在时间单元 7 中，吸附容器 10 中的流体从开口 14 流出，并沿管路 16 流到均压管路 108 中，然后再沿管路 46、经开口 44 流到吸附容器 40 中。应当指出的是，如果需要的话，作为备选

方案，也可利用阀门 10D 和 40D，沿均压管路 110 执行这一步骤。

在时间单元 8 和 9 中，阀门 40C 处于关闭状态，阀门 10C 和 50C 处于开启状态，从而使吸附容器 10 向吸附容器 50 输送流体，以便于使吸附容器 10 与 50 中的压力达到平衡。在时间单元 8 和 9 中，吸附容器 10 执行一第二级压力平衡步骤 (E2D)，在该步骤中，吸附容器 10 中的压力被降低，与此同时，吸附容器 50 执行一第二级压力平衡步骤 (E2P)，在该步骤中，吸附容器 50 的压力被升高。因而，在时间单元 8 和 9 中，吸附容器 10 中的流体从开口 14 中流出，并沿管路 16 流到均压管路 108 中，然后沿管路 56、经开口 54 流到吸附容器 50 中。应当指出的是，如果需要的话，作为备选方案，也可利用阀门 10D 和 50D，沿均压管路 110 执行该步骤。

在时间单元 10 中，阀门 10C 处于关闭状态，阀门 10D 和 60D 处于开启状态，以使得吸附容器 10 向吸附容器 60 输送流体，以便于使吸附容器 10 与 60 中的压力达到平衡。在时间单元 10 中，吸附容器 10 执行一第三级压力平衡步骤 (E3D)，在该步骤中，吸附容器 10 中的压力被降低，与此同时，吸附容器 60 执行一第三级压力平衡步骤 (E3P)，在该步骤中，吸附容器 60 中的压力被升高。因而，在时间单元 10 中，吸附容器 10 中的流体从开口 14 中流出，并沿管路 18 流到均压管路 110 中，然后沿管路 68、经开口 64 流到吸附容器 60 中。应当指出的是，如果需要的话，作为备选方案，也可利用阀门 10C 和 60C，沿均压管路 108 执行该步骤。

在时间单元 11 和 12 中，阀门 60D 处于关闭状态，阀门 10D 和 70D 处于开启状态。在时间单元 11 和 12 中，吸附容器 10 通过向吸附容器 70 输送吹洗气体而执行并行减压 (PP) 操作，该操作通过开启的阀门 70E 将废气扫吹 (P) 出去，由此将废气从吸附容器 70 经管路 73 排出到废气歧管 104 中。在时间单元 11 和 12 中，吸附容器 10 中的流体从开口 14 流出，并沿管路 18 流到均压管路 110 中，然后再沿管路 78、经开口 74 流到吸附容器 70 中。利用从开口 72 排出、并沿管路 73 流到废气歧管 104 中的流体，吸附容器 70 获得了吹洗。应当

指出的是，如果需要的话，作为备选方案，也可利用阀门 10C 和 70C，沿均压管路 108 执行该步骤。

在时间单元 13 中，阀门 10D 处于关闭状态，且阀门 10E 处于开启状态。在时间单元 13 中，吸附容器 10 执行一逆向排气步骤 (BD)，在该步骤中，吸附容器 10 中的流体从开口 12 排出，并沿管路 13 流向废气歧管 104。

在时间单元 14 和 15 中，阀门 10E 处于开启状态，阀门 10D 和 20D 处于开启状态。在时间单元 14 和 15 中，吸附容器 20 通过向吸附容器 10 输送吹洗气体而执行一并行减压步骤 (PP)，通过将阀门 10E 开启，该操作可将废气吹洗 (P) 出去，由此将废气从吸附容器 10 中经管路 13 排出到废气歧管 104 中。在时间单元 14 和 15 中，吸附容器 20 中的流体从开口 24 流出，并沿管路 28 流向均压管路 110，然后沿管路 18、经开口 14 流入到吸附容器 10 中。通过使流体从开口 12 流出、并沿管路 13 流到废气歧管 104 中，就能实现对吸附容器 10 的吹洗。应当指出的是，如果需要的话，作为备选方案，也可利用阀门 10C 和 20C，沿均压管路 108 执行该步骤。

在时间单元 16 中，阀门 10D 和 30D 处于开启状态，以便于使吸附容器 10 与 30 中的压力达到平衡。在时间单元 16 中，吸附容器 30 执行一第三级压力平衡步骤 (E3D)，在该步骤中，吸附容器 30 中的压力被降低，与此同时，吸附容器 10 执行一第三级压力平衡步骤 (E3P)，在该步骤中，吸附容器 10 中的压力被升高。在时间单元 16 中，利用阀门 10D 和 30D 执行了第三级压力平衡步骤。因而，在时间单元 16 中，吸附容器 30 中的流体从开口 34 中流出，并沿管路 38 流到均压管路 110 中，然后沿管路 18、经开口 14 流到吸附容器 10 中。应当指出的是，如果需要的话，作为备选方案，也可利用阀门 10C 和 30C，沿均压管路 108 执行该步骤。

在时间单元 17 和 18 中，阀门 10D 处于关闭状态，阀门 10C 和 40C 处于开启状态，以便于使吸附容器 10 与 40 中的压力达到平衡。在时间单元 17 和 18 中，吸附容器 40 执行一第二级压力平衡步骤

(E2D), 在该步骤中, 吸附容器 40 中的压力被降低, 与此同时, 吸附容器 10 执行一第二级压力平衡步骤 (E2P), 在该步骤中, 吸附容器 10 中的压力被升高。在时间单元 17 和 18 中, 利用阀门 10C 和 40C 执行了第二级压力平衡步骤。因而, 在时间单元 17 和 18 中, 吸附容器 40 中的流体从开口 44 中流出, 并沿管路 46 流到均压管路 108 中, 然后沿管路 16、经开口 14 流到吸附容器 10 中。应当指出的是, 如果需要的话, 作为备选方案, 也可利用阀门 10D 和 40D, 沿均压管路 110 执行该步骤。

在时间单元 19 中, 阀门 40C 处于关闭状态, 阀门 10C 和 50C 处于开启状态, 以便于使吸附容器 10 与 50 中的压力达到平衡。在时间单元 19 中, 吸附容器 50 执行一第一级压力平衡步骤 (E1D), 在该步骤中, 吸附容器 50 中的压力被降低, 与此同时, 吸附容器 10 执行一第一级压力平衡步骤 (E1P), 在该步骤中, 吸附容器 10 中的压力被升高。在时间单元 19 中, 吸附容器 50 中的流体从开口 54 中流出, 并沿管路 56 流到均压管路 108 中, 然后沿管路 18、经开口 14 流到吸附容器 10 中。应当指出, 如果需要的话, 作为备选方案, 也可利用阀门 10D 和 50D, 沿均压管路 110 执行该步骤。

在时间单元 20 和 21 中, 阀门 10C 和 50C 处于关闭状态, 阀门 10B 处于开启状态, 以便于在吸附容器 10 中执行一最终产品再升压步骤 (FP)。在最终产品再升压步骤 (FP) 中, 流体从正在执行吸附步骤的吸附容器 60、70 中经管路 65、75 流向产品歧管 102, 然后再从产品歧管 102 沿管路 15、经开口 14 流入到吸附容器 10 中。

其余的吸附容器 20、30、40、50、60 以及 70 按照相同的步骤序列工作, 但是, 各个吸附容器所执行的步骤序列是相互错开的。其余各个吸附容器 20、30、40、50、60 以及 70 的过程与上文针对吸附容器 10 所描述的过程类似; 但是, 那些需要吸附容器之间相互作用的各个步骤是由不同的吸附容器完成的, 由图 7 清楚展示的 PSA 循环流程图所示。

本发明有利地提供了一种 PSA 系统, 其结构并不复杂, 且能执行

两级、三级、或更多级的压力平衡，以便于减小系统中的流体冲击。流体冲击由于会使吸附床中的吸附剂颗粒移动、相互摩擦而将颗粒破碎为更小的尘粒，并会形成吸附剂沉积泥，由此会缩短吸附剂的使用时间。

可采用许多种不同构造的配件和阀门，按照多种不同的方式构建 PSA 系统 1A、1B、1C 以及 1D。图 9 表示了阀门歧管的一种优选结构，本发明可采用该阀门歧管，由发明人 Franklin D.Lomax, Jr 等人提出的、发明名称为“用于变压吸附的方法和设备”（METHOD AND APPARATUS FOR PRESSURE SWING ADSORPTION）的专利申请中，公开了这种结构的阀门歧管，上述的申请是与本申请同时提交的，其基于发明名称为“用于变压吸附的改进的方法和设备”（IMPROVED METHOD AND APPARATUS FOR PRESSURE SWING ADSORPTION）的第 60/370702 号临时申请（其提交日为 2002 年 4 月 9 日）。这些申请中的内容被结合到此处作为参考。

图 9 是一个三维立体图，其表示了可被用在本发明中的阀门歧管 120。可通过将底座 122 连接到图 2 所示吸附容器 10 的下端上来应用图 9 所示的阀门歧管 120。阀门歧管 120 中设置了至少一个充气室 130，该充气室通过开口 12 与吸附容器 10（见图 2）相通。充气室 130 是图 2 中的管路 11。歧管 120 上还设置有一第一流体流路 140，当该流体流路 140 通过管道与吸附容器 20、30、40 的阀门歧管的相同结构连接到一起时，该流路就构成了气源歧管 100 的一部分。歧管 120 还包括一第二流体流路 160，当该流体流路 160 通过管道与吸附容器 20、30、40 的阀门歧管的相同结构连接到一起时，该流路就构成了废气歧管 104 的一部分。

充气室 130 通过一内部槽道或流体通道 152 与第一流体流路 140 连通。流体通道 152 即为图 2 中的管路 11。在一端口 150 中安装了一个阀（未在图 9 中示出，但在图 2 中被表示为阀门 10A），其靠着一个阀座 154，使得该阀能对从充气室 130、经流体通道 152 流向第一流体流路 140 的流体流进行控制。充气室 130 通过一内部槽道或流体通道

172 与第二流体流路 160 连通。流体通道 172 即为图 2 中的管路 13。在一端口 170 中安装了一个阀（未在图 9 中示出，但在图 2 中被表示为阀门 10E），其靠着一个阀座 174，使得该阀能对从充气室 130、经流体通道 172 流向第二流体流路 160 的流体流进行控制。

阀门歧管 120 提供一个紧凑的结构，其配件的数目是最小的，因而，这将能减小 PSA 系统的尺寸，并降低发生泄漏的可能性。可根据特定 PSA 系统的需要，在阀门歧管上设置其它的流体流路或另外的阀，其中，阀利用另外的流体通道将充气室与流体流路连接起来。例如，可在吸附容器 10 上端的开口 14 处使用一种与图 9 所示阀门歧管类似的装置。但是，由于开口 14 与均压管路 106 是分别通过两条管路 16、18 由两阀门 10C 和 10D 连接起来的，所以，必须在该阀门歧管中设置另一阀门端口、阀座以及流体通道，并与其中的一个流体流路相连接，以便于为另外一个阀门提供一个端口。对于图 8 所示 PSA 系统 1D 中吸附容器 10 的上端，由于开口 14 与产品歧管 102、均压管路 108 以及均压管路 110 相连接，所以需要在阀门歧管上增设另外一条流体流路。

需要指出的是，本发明的阀门被设计成不对沿流路的流体流进行限制和对充气室内的流体流进行限制。阀门被设计成只对流体经通道在充气室与流路之间的流动进行控制。因而，如果需要的话，在任意一个给定阀门出现故障的情况下，都能保持沿流路的流动、以及充气室中的流动。

应当指出的是，文中描述、表示的示例性实施方式介绍了本发明的优选实施方式，但无论如何都不意味着对权利要求保护范围的限制。

根据上述内容，可对本发明作出多种形式的改动和变型。因而，可以理解：在所附权利要求书的范围内，除了文中具体介绍的形式之外，还可按照其它的方式来实施本发明。

吸附容器		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
10	A	E1D		PP		E2D BD		P		E2P E1P		FP		E1D		E2D BD		PP		E2P E1P		FP		E2D	
20	P	E2P E1P		FP		A		E1D		E2D		PP		E2D		E1D		PP		E2D		E1D		E2D	
30	E1D	PP		E2D BD		P		E2P E1P		FP		A		E2D		E1D		PP		E2P E1P		FP		E2D	
40	E1P	FP		A		E1D		E2D BD		PP		E2D		PP		E2D		PP		E2D		PP		E2P	

图1

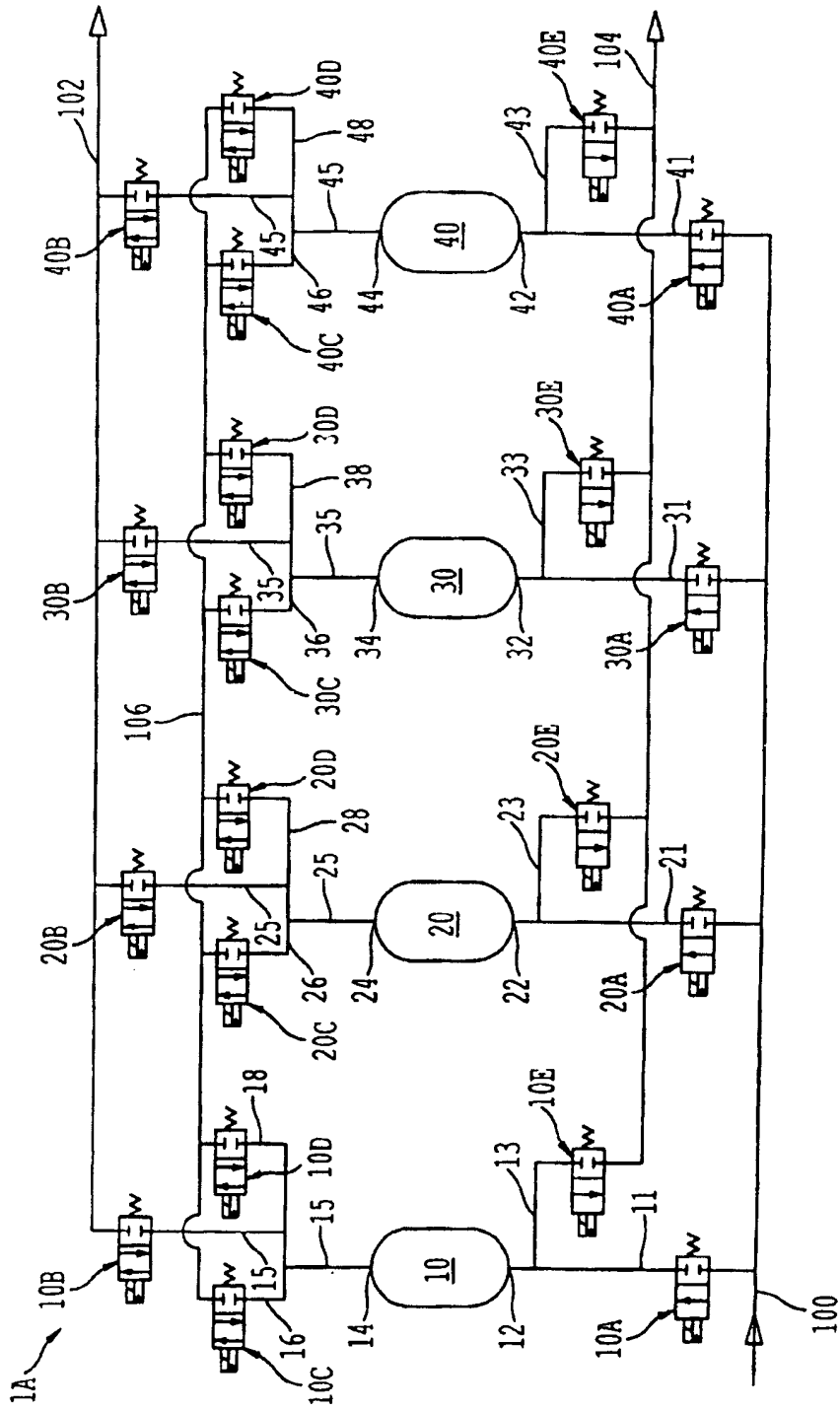


图2

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	时间单元		
10	E1D E2D		PP	BD	H	P	H	E2P	H	E1P	A													
20	A		E1D E2D	PP	BD	H	P	H	E2P	H	EP	FP												
30	E1P	FP	A										BD	H	P	H	E2P	H	FP					
40	H E2P	H	E1P	FP										E1D E2D	A	E1D E2D	PP	BD	H	P	PP			
50	BD	H	P	H	E2P	H	E1P	FP	A										E1D E2D	PP	PP			

图 3

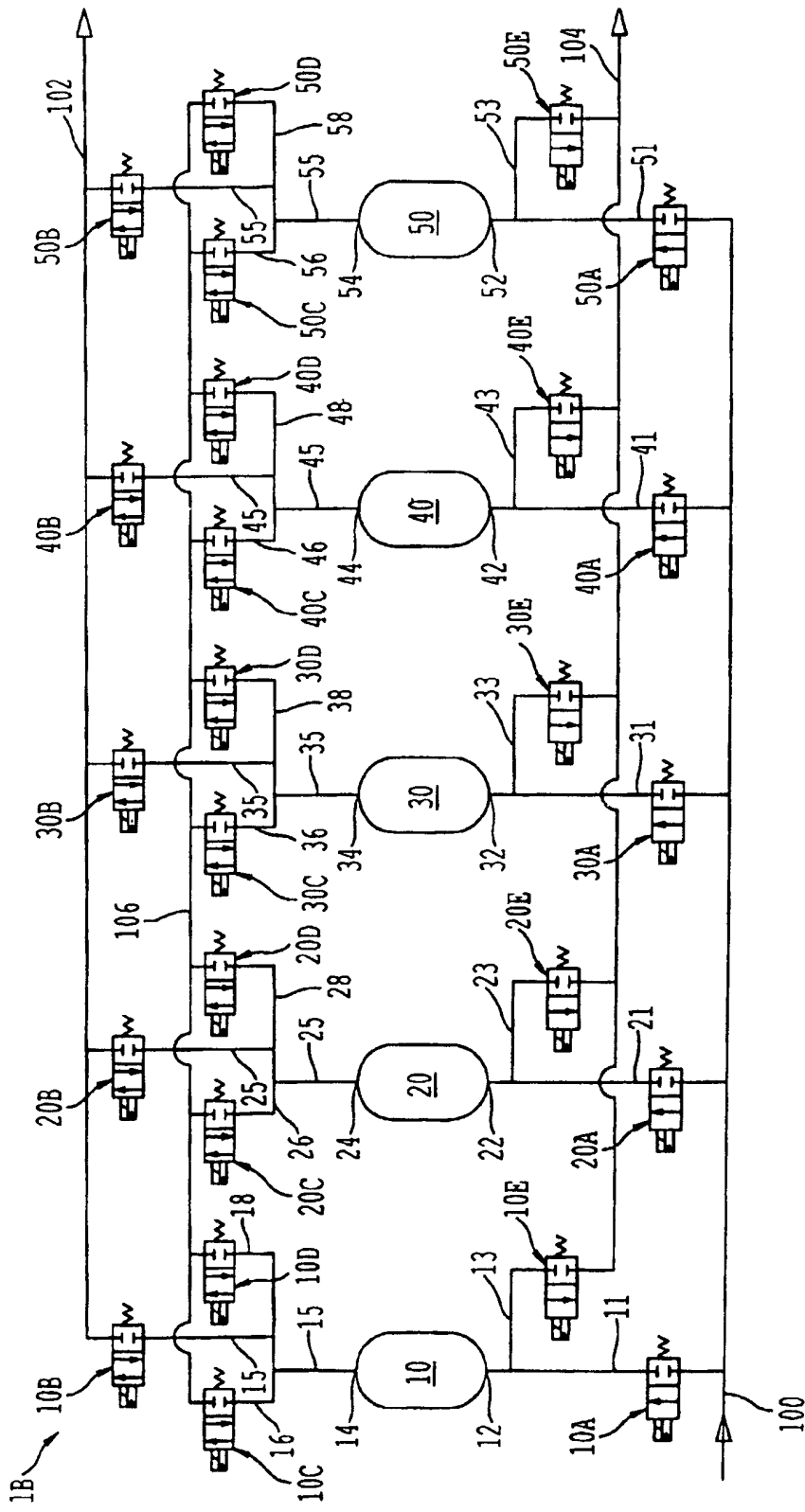


图 4

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	时间单元													
10		A																																					
20	H	E1P	FP	A																																			
30	E3P	H	E2P	H	E1P	FP	A																																
40	H	P	H	E3P	H	E2P	H	E1P	FP	A																													
50	E3D	PP	BD	H	P	H	E3P	H	E2P	H	E1P	FP	A																										
60	A	E1D	E2D	E3D	PP	BD	H	P	H	E3P	H	E2P	H	E1P	FP	A																							

图5

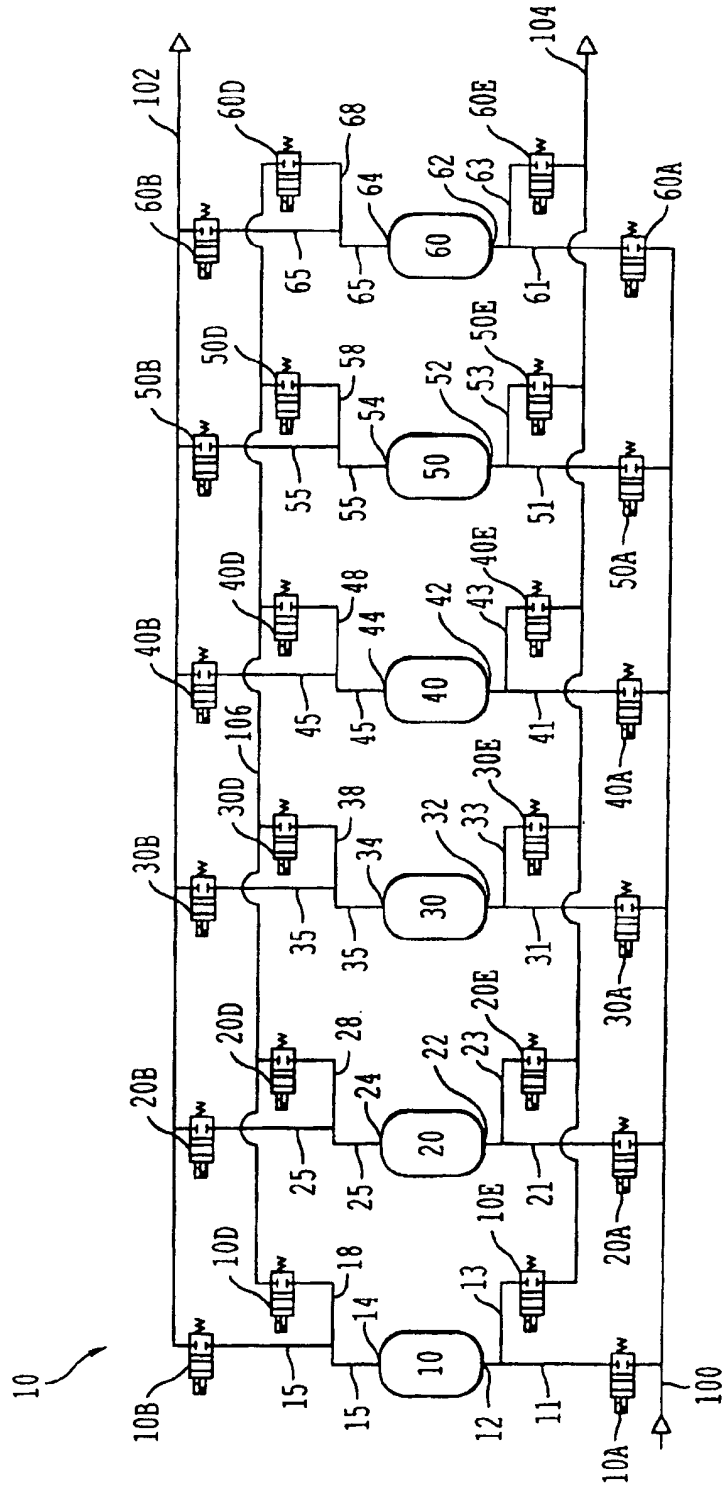


图 6

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	时间单元
10		A																					
20	E1P	FP	E2P	E1P	FP	A		E1D	E2D	E3D	PP	BD	PP	E3P	E2P	E1P	FP						
30	E3P	E2P	P	E3P	E2P	A		E1D	E2D	E3D	PP	BD	PP	E3D	E2D	E1D	PP	BD	PP	E3P	E2P	P	
40	BD	P	E3P	E2P	E1P	FP	A		E1D	E2D	E3D	PP	BD	PP	E3D	E2D	E1D	PP	BD	PP	E3D	E2D	PP
50	E3D	PP	BD	P	E3P	E2P	PP	E1P	FP	E1P	FP	A		E1D	E2D	E3D	E2D	E1D	E2D	E3D	E2D	E1D	E2D
60	E1D	E2D	E3D	PP	BD	P	E3P	E2P	E1P	FP	E1P	FP	A		E1D	E2D	E3D	E2D	E1D	E2D	E3D	E2D	E1D
70	A	E1D	E2D	E3D	PP	BD	PP	E1P	FP	E1P	FP	A		E1D	E2D	E3D	E2D	E1D	E2D	E3D	E2D	E1D	E2D

图7

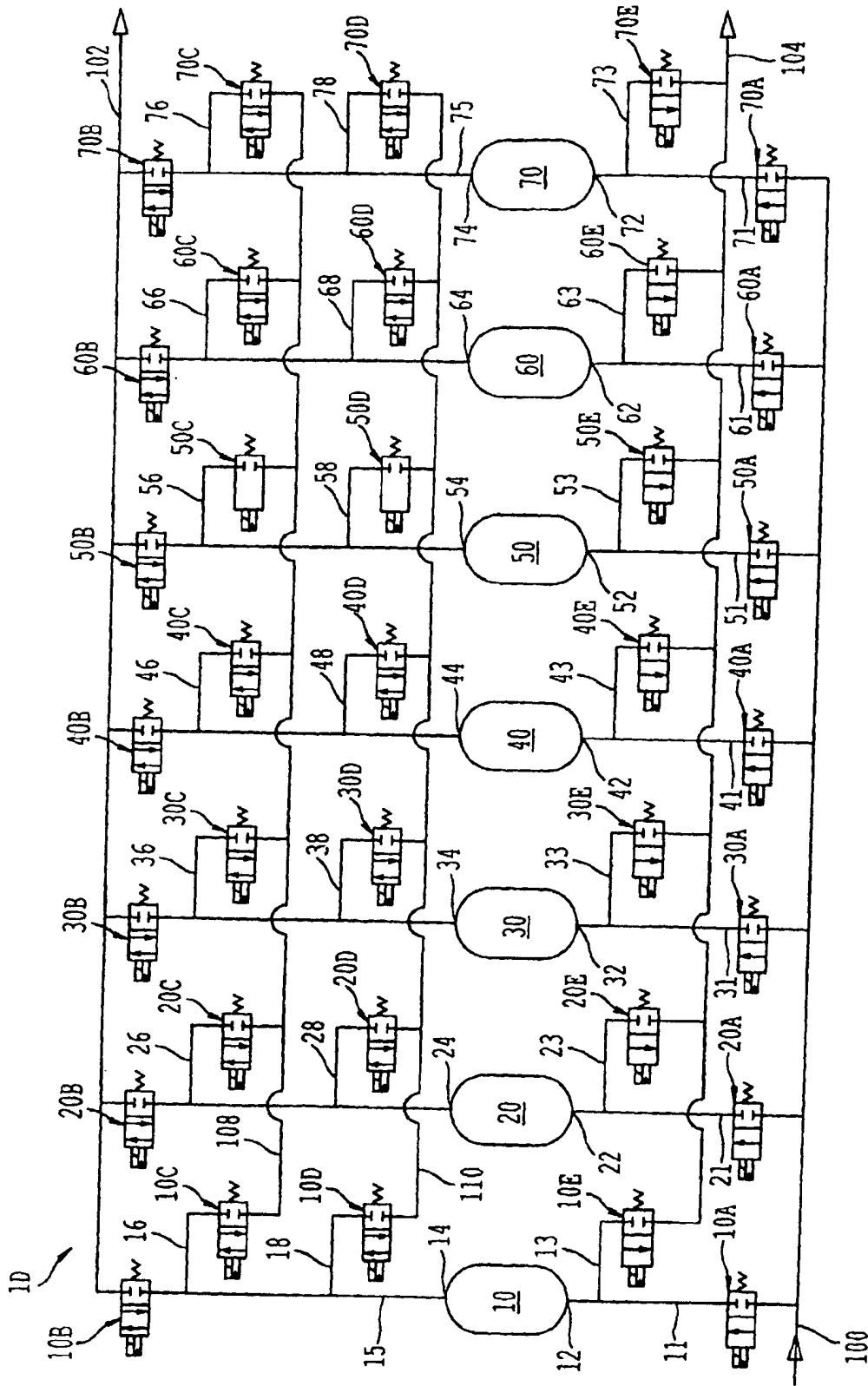


图 8

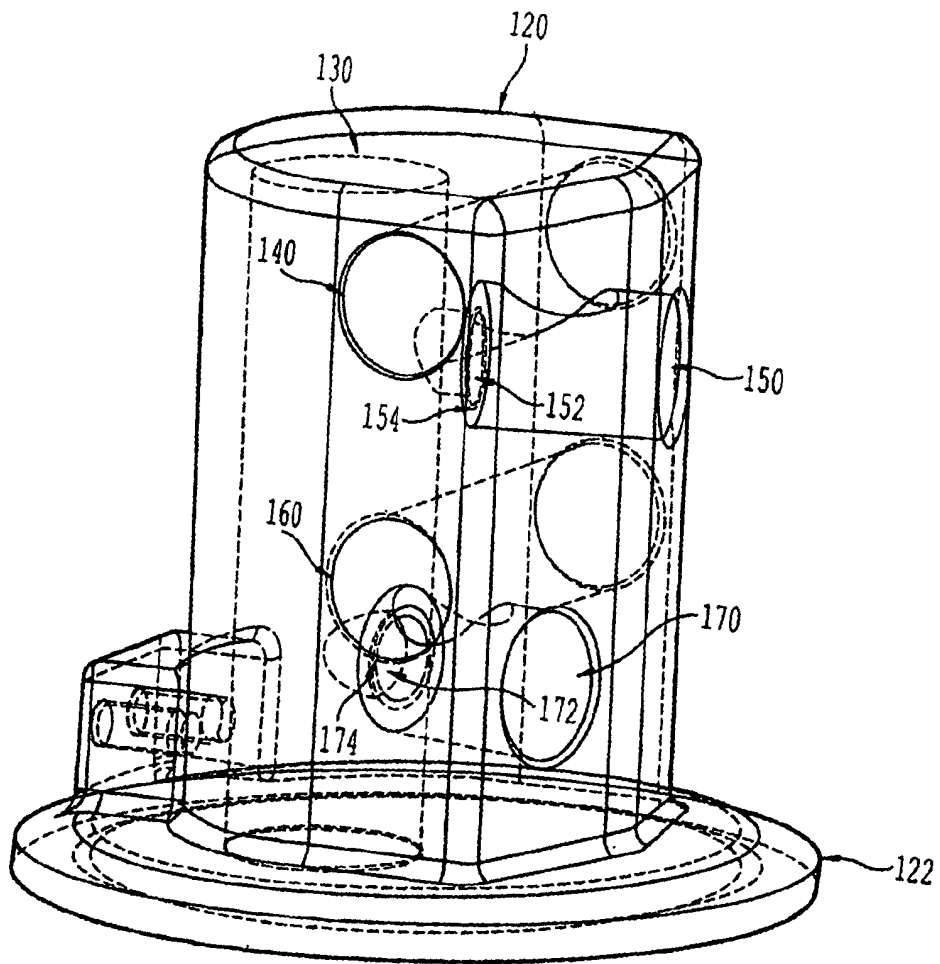


图9