(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 1767888 B
(45)授权公告日 2010.11.03

(21)申请号 200380102668.7
(22)申请日 2003.10.21
(30)优先权数据
10/284,029 2002.10.30 US
(85)PCT申请进入国家阶段日
2005.04.30
(86)PCT申请的申请数据
PCT/US2003/033300 2003.10.21
(87)PCT申请的公布数据
WO2004/041414 EN 2004.05.21
(73)专利权人 万罗赛斯公司
地址 美国俄亥俄州
(72)发明人 安娜·利·通科维奇
布鲁斯·F·蒙泽克 邱东明
马修·B·施密特
布拉德利·G·查德韦尔
韦斯利·布鲁诺 埃里克·伯克利
(74)专利代理机构 北京邦信阳专利商标代理有限公司 11012
代理人 王昭林 张小英
(51)Int.Cl.
B01D 53/04(2006.01)
B01D 53/14(2006.01)
C01B 13/02(2006.01)
B01D 53/18(2006.01)
(56)对比文件
US 4424127 A, 说明书第2栏第6-56行.
审查员 王智勇

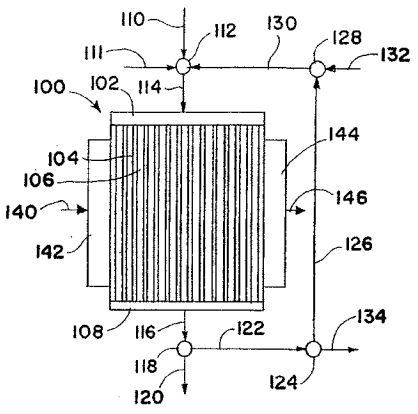
权利要求书 7 页 说明书 25 页 附图 12 页

(54)发明名称

使用微通道工艺技术通过吸附从流体混合物中分离流体成分的工艺

(57)摘要

一种从含有流体成分的流体混合物中分离流体成分的工艺，该工艺包括：(A)流体混合物流入微通道分离器(100)；该微通道分离器(100)包括多个含有吸附媒介(106)的工艺微通道(104)，一个为流体进入工艺微通道(104)提供流动通道的总管(102)，以及一个为流体离开工艺微通道(104)提供流动通道的尾管(108)，该总管(102)和尾管(108)的总的内部体积约为工艺微通道(104)的内部体积的40%；该流体混合物处于微通道分离器(100)内，直至至少一部分该流体成分被吸附媒介(106)所吸附；净化该微通道分离器(100)，从而从微通道分离器(100)置换未被吸附的部分流体混合物；以及(B)从吸附媒介(106)中解吸该流体成分，并将冲洗流体流经微通道分离器(100)，从而置换微通道分离器(100)中的被解吸的流体成分。



CN 1767888 B

1. 一种从含有一种流体成分的流体混合物中分离该流体成分的工艺，该工艺包括：

(A) 将流体混合物流入一微通道分离器；该微通道分离器包括多个含有一种吸附媒介的工艺微通道，一个为流体进入工艺微通道提供流动通道的总管，以及一个为流体离开工艺微通道提供流动通道的尾管，该总管和尾管的总的内部体积可达到工艺微通道的内部体积的 40％；该流体混合物处于微通道分离器内，直至至少一部分该流体成分被该吸附媒介所吸附；净化该微通道分离器，从而置换微通道分离器中流体混合物的未被吸附部分；以及

(B) 从吸附媒介中解吸该流体成分，并将一冲洗流体流经微通道分离器，从而置换微通道分离器中被解吸的流体成分。

2. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中一入口管道与该总管相连，一出口管道与该尾管相连；该入口管道具有对于流体混合物和冲洗流体的不同的入口，冲洗流体的入口在流体混合物的入口的上游；该出口管道具有对于流体混合物和冲洗流体的不同的出口，冲洗流体的出口在流体混合物的出口的上游。

3. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中该总管包括一种可变形的部件，从而允许改变总管的内部体积。

4. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中尾管包括一种可变形的部件，从而允许改变尾管的内部体积。

5. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中该总管和尾管分别包括可变形的部件，从而允许改变总管和尾管的内部体积。

6. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中该总管是一个多入口总管，该总管包括一流体混合物部分、一净化流体部分和一冲洗流体部分；该流体混合物由流体混合物部分流入该工艺微通道；该净化流体由净化流体部分流入该工艺微通道；该冲洗流体由冲洗流体部分流入该工艺微通道。

7. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中该冲洗流体不同于流体成分，并且该工艺还包括从流体成分中分离冲洗流体。

8. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中在步骤 (B) 中，冲洗流体由总管流向工艺微通道，经工艺微通道流向尾管。

9. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中在步骤 (B) 中，冲洗流体由尾管流向工艺微通道，经工艺微通道流向总管。

10. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中该工艺还包括在步骤 (B) 之后的再生吸附媒介的步骤。

11. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中吸附媒介在步骤 (A) 阶段处于第一温度，在步骤 (B) 阶段处于第二温度，该第一温度低于第二温度。

12. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中吸附媒介在步骤 (A) 阶段处于第一温度，在步骤 (B) 阶段处于第二温度，该第一温度高于第二温度。

13. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中吸附媒介在步骤 (A) 的开始阶段处于第一温度，在步骤 (A) 的结束阶段处于第二温度，该第一温度高于第二温度。

14. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中吸附媒介在步骤 (A) 阶段处于第一压力下，在步骤 (B) 阶段处于第二压力下，该第一压力等于或高于第二压力。

15. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中吸附媒介在步骤 (A) 阶段处于第一压力下，在步骤 (B) 阶段处于第二压力下，该第一压力等于或低于第二压力。

16. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中吸附媒介在步骤 (A) 阶段处于第一温度和第一压力下，在步骤 (B) 阶段处于第二温度和第二压力下，该第一温度低于第二温度，并且该第一压力等于或高于第二压力。

17. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中吸附媒介在步骤 (A) 阶段处于第一温度和第一压力下，在步骤 (B) 阶段处于第二温度和第二压力下，该第一温度低于第二温度，并且该第一压力等于或低于第二压力。

18. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中吸附媒介是用电阻加热器加热的。

19. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中吸附媒介包括金属结构，该金属结构起到电阻加热器的功能。

20. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中吸附媒介用由热交换微通道的热量加热，该热交换微通道与吸附媒介进行热接触。

21. 根据权利要求 20 所述的工艺，其中流经工艺微通道的流体以第一方向流动，热交换流体以第二方向流经热交换微通道，该第二方向相对于第一方向为错流。

22. 根据权利要求 20 所述的工艺，其中流经工艺微通道的流体以第一方向流动，热交换流体以第二方向流经热交换微通道，该第二方向相对于第一方向为并流。

23. 根据权利要求 20 所述的工艺，其中流经工艺微通道的流体以第一方向流动，热交换流体以第二方向流经热交换微通道，该第二方向相对于第一方向为逆流。

24. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中工艺微通道由下述材料制成 ：铝 ；钛 ；镍 ；铂 ；铑 ；铜 ；铬 ；一种上述任何金属的合金 ；钢 ；黄铜 ；一种热固树脂 ；陶瓷 ；玻璃 ；一种包括聚合物和纤维玻璃的复合物 ；石英 ；硅 ；或其中多种物质的结合物。

25. 根据权利要求 20 所述的工艺，其中该热交换微通道由下述材料制成 ：铝 ；钛 ；镍 ；铂 ；铑 ；铜 ；铬 ；一种上述任何金属的合金 ；钢 ；黄铜 ；一种热固树脂 ；陶瓷 ；玻璃 ；一种包括聚合物和纤维玻璃的复合物 ；石英 ；硅 ；或其中多种物质的结合物。

26. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中该吸附媒介的形式为一种流经的吸附媒介。

27. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中该吸附媒介的形式为一种流过的吸附媒介。

28. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中该工艺微通道具有内表面，且该吸附媒介被涂布于工艺微通道的内表面上。

29. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中该吸附媒介为固体微粒的形式。

30. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中该吸附媒介为固体微粒的形式，该固体微粒与有效量的热导固体微粒混合，从而增加该吸附媒介的热传导性。

31. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中该吸附媒介的形式为 ：一种泡沫材料、毡状体、填充物、丝网、蜂巢状体、可插入的叶片或其中多种物质的组合物。

32. 根据权利要求 31 所述的工艺，其中泡沫材料、毡状体、填充物、丝网或可插入的叶片起到电阻加热器的功能。

33. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中该吸附媒介具有弯曲的构型。

34. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中该吸附媒介的形式为 ：一种有相邻缝隙的流经的结构、一种有相邻缝隙的泡沫材料、一种有缝隙的叶片结构、一种在插入式底层上的洗涤涂

层或一种平行于流动方向并具有对于流动相应的缝隙的丝网。

35. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中该吸附媒介占工艺微通道的至少一个交错部分的横截面面积的 1-99％。

36. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中该吸附媒介包括银、金、铂、钯、镍、沸石、硅胶或其中多种物质的组合物。

37. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中该吸附媒介包括被配体配位的金属离子，所述金属离子为：Fe^{2+}、Co^{2+}、Cu^{+}、V^{2+}、Mn^{2+}、Mn^{3+}、Cr^{2+}、Ag^{+}、Rh^{+}、Rh^{2+}、Rh^{3+}、U^{4+}、V^{4+}、Ru^{2+}、Ru^{4+}、Ti^{3+}、Cr^{4+}、Bi^{3+}、Ni^{2+}、W^{5+}、W^{4+}、Mo^{2+}、Mo^{3+}、Mo^{4+}、Mo^{5+}、Mo^{6+} 或其中多种物质的组合物。

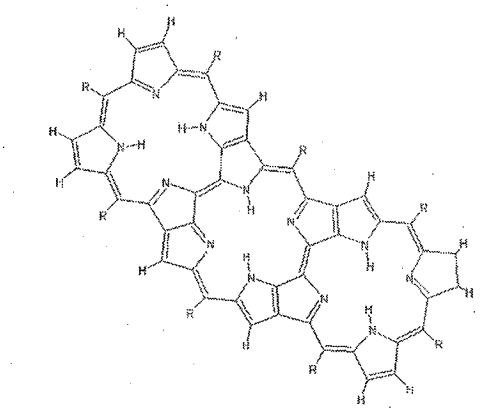
38. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中吸附媒介包括被配体配位的金属离子，所述配体为：轮环藤宁；仙客木；席夫碱配体；羧酸酯；联吡啶或其聚合物；卟啉或其聚合物；聚酰胺；蛋白质；8- 羟基喹啉或其聚合物；半胱乙酯或其聚合物；二甲基乙二肟或其中多种物质的组合物。

39. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中该吸附媒介来自一种咪唑、组氨酸、嘧啶、哌啶、4- 甲基氨基嘧啶、4- 二甲基氨基嘧啶、硝酸盐、硫氰酸酯、卤化物或其中多种物质的组合物。

40. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中该吸附媒介包括：血红蛋白；血赤藓素；血蓝蛋白；肌血球素；Co(II)（双（乙酰丙酮）乙二胺四齿席夫碱配体）；Fe(2- 羟基 -1,10- 邻菲咯啉)$_2^{2+}$；双（乙基半胱氨酸基）氧化钒 (IV)；Cu(I)((1H- 苯并咪唑 -2- 基 - 甲基）磷酸酯）；双（二甲基乙二肟基）钴 (II)；双（组氨酸）钴 (II)；二硝酸基 - 双（均二乙基乙烯二胺）钴 (II)；二氯 - 双（均二乙基乙烯二胺）钴 (II)；[间 - 四（α，α，α，α - 邻 - 新戊酰胺基苯基）卟啉] 钴 (II)；[N,N,- 双（亚水杨基）二丙烯三胺] 钴 (II)；[2,3,10,11,13,19- 六甲基 -3,10,14,18,21,25- 六氮杂双环 [10.7.7] 二十六 -1,11,13,18,20,25- 己烯 - κ ^{4}N] 钴 (II) 六氟磷酸酯；[N,N'- 双 (3- 甲氧基亚水杨基）乙烯二胺] 钴 (II)；[N,N'- 双（亚水杨基）四甲基乙烯二胺] 钴 (II)；[N,N'- 双 (3- 甲氧基亚水杨基）四甲基乙烯二胺] 钴 (II)；[N,N'- 双 (3- 异丙氧基亚水杨基）四甲基乙烯二胺] 钴 (II)；[N,N'- 双 (3- 乙氧基亚水杨基）四甲基乙烯二胺] 钴 (II)；[N,N'- 双 (5- 甲氧基亚水杨基）四甲基乙烯二胺] 钴 (II)；[N,N'- 双 (5-n- 丁氧基亚水杨基）四甲基乙烯二胺] 钴 (II)；[N,N'- 双（亚水杨基）乙烯二胺] 钴 (II)；钴 (II) 卟啉配合物；封装在沸石内的金属 - 氰化物配合物；含有二铁 (III,IV)、二铜 (II) 或二锰核的血色素、蚯蚓血红蛋白或血蓝蛋白；钴 - 二 -(3- 甲氧基水杨醛特丁基胺）；[N, N'- 双（亚水杨基）n- 丙基二丙烯三胺] 钴 (II)；1- 甲基咪唑；2- 甲基咪唑；4- 二甲基酰胺基嘧啶；氰基嘧啶；与钴螯合的得自乙烯 - 二胺 - 四乙酸、甲基丙烯酸甲酯和丁基丙烯酸酯的共聚物；[α - 单（邻 - 甲基丙烯酰胺基苯基）-α，α，α - 三（邻 - 新戊酰胺基苯基）卟吩基] 钴；[内消旋 -α，α，α，α - 四（邻 - 新戊酰胺基苯基）卟吩基]- 铁 (II)；钴 (II) 内消旋 - 四 - 苯基 - 卟啉；钴 (II) 内消旋 - 四 (2- 氯苯基）卟啉；钴 (II) 内消旋 - 四 (4- 氯苯基）卟啉；钴 (II) 内消旋 - 四 (4- 甲氧基苯基）卟啉；钴 (II) 内消旋 - 四 (2,4- 二甲氧基苯基）卟啉；钌 (III) 双（水杨醛）乙烯二亚胺；钌 (III) 双（水杨醛）二乙烯三亚胺；钌 (III) 双 -（吡啶醛）- 邻 - 亚苯基二亚胺；钌 (III) 双（吡啶醛）乙烯二亚胺；钌 (III) 双（吡啶醛）二乙烯三亚胺；双（二甲基乙二肟基）镍 (II)、双（二甲基乙二肟基）铜 (II)；二硝酸基 - 双（均二乙烯二胺）钴 (II)；二

氰硫基－双（均二乙烯二胺）钴（II）；钴二（水杨醛）-3,3’－二亚胺－二－邻－丙基胺；N,N’－乙烯－双（5-硝基－亚水杨基－亚胺基）钴（II）；或其中多种物质的组合物。

41. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中该吸附媒介来自具有下图所示结构的配体：



其中每个 R 代表烃或取代的烃基。

42. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中该吸附媒介包括 Sb_2O_5、AgO、PtO、CrO_2、PbO、HgO、Cu_2O、MnO、Mn_2O_3、Bi_2O_4、NiO、NiO_2、Cu_2O_3、SnO、SnO_2、WO_2、WO_3、W_2O_5、全氟化的薄膜、Pt/γ－氧化铝、Fe/γ－氧化铝、Cu/γ－氧化铝、Zn/γ－氧化铝、Co/γ－氧化铝、沸石，或其中多种物质的组合物。

43. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中该吸附媒介包括一种金属氰化物的聚合物。

44. 根据权利要求 43 所述的工艺，其中该金属氰化物的聚合物的分子式为 $[Cu(I)(CN)_x]_n$、$[Fe(II)(CN)_y]_n$ 或 $[Co(II)(CN)_y]_n$，其中 x 为 3，y 为 5 且 n 至少为 2。

45. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中该吸附媒介包括一种硅胶、泡沫状铜、烧结的不锈钢纤维、氧化铝、聚甲基丙烯酸甲酯、聚磺酸酯、聚（四氟乙烯）、铁、镍海绵体、尼龙、聚乙二烯二氟化物、聚丙烯、聚乙烯、聚乙烯乙基酮、聚乙烯醇、聚乙烯乙酸酯、聚丙烯酸酯、聚苯乙烯、聚苯烯硫化物、聚砜、聚丁烯，或其中多种物质的组合物。

46. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中该吸附媒介包括一种抗氧化剂。

47. 根据权利要求 46 所述的工艺，其中该抗氧化剂包括一种二胺、苯酚磷酸盐、亚磷酸盐、酚醛树脂、羟胺、烯烃羧酸酯、氨基羧酸酯、维生素 E、二－叔丁基－对－甲酚、锡盐、锡的氧化物、聚山梨醇酯或其中多种物质的组合物。

48. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中该工艺微通道具有一个高或宽为 10mm 的内部尺寸。

49. 根据权利要求 20 所述的工艺，其中该热交换微通道具有一个高或宽为 2mm 的内部尺寸。

50. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中在步骤 (A) 中的流体混合物是非浓缩的，在步骤 (A) 阶段被吸附的流体成分的体积的至少 1％在步骤 (B) 阶段被解吸，用于完成步骤 (A) 和步骤 (B) 的时间为 100 秒。

51. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中在步骤 (A) 中的流体混合物是浓缩的，在步骤 (A) 阶段被吸附的流体成分的体积的至少 1％在步骤 (B) 阶段被解吸，用于完成步骤 (A) 和步骤 (B) 的时间为 100 秒。

52. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中该吸附媒介在步骤 (A) 阶段的温度为 -100 ～

200℃，在步骤 (B) 阶段为 0 ～ 300℃。

53. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中该吸附媒介在步骤 (A) 阶段的压力为 0.01 ～ 50 个大气压，在步骤 (B) 阶段为 0.001 ～ 50 个大气压。

54. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中该流体混合物包括空气，且该流体成分包括氧气。

55. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中该流体混合物包括一种烷链烃和一种烯烃，且该流体成分包括该烯烃。

56. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中该流体混合物包括乙烯和乙烷，且该流体成分包括乙烯。

57. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中该流体成分包括氧、氢、NO_X、CO、CO_2、H_2S、HCN，SO_2、CH_3SCH_3、烯烃、链烷烃、芳香化合物、卤代物、硝酸盐、硫酸盐、糖、酯、醇、醚或其中多种物质的混合物。

58. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中包括进行使用净化流体净化微通道分离器的步骤，该净化流体包括氮、氦、氩、二氧化碳、水蒸气或其中多种物质的混合物。

59. 根据权利要求 1 所述的工艺，其中该冲洗流体包括氮、氦、氩、二氧化碳、水蒸气或其中多种物质的混合物。

60. 一种用于从空气中分离氧气的工艺，该工艺包括 :

(A) 将空气流入微通道分离器 ;该微通道分离器包括多个含有一种吸附媒介的工艺微通道，一个为流体进入工艺微通道提供流动通道的总管，以及一个为流体离开工艺微通道提供流动通道的尾管，该总管和尾管的总的内部体积可达到工艺微通道的内部体积的 40％ ;该空气处于微通道分离器内，直至至少部分氧气被该吸附媒介所吸附 ;净化该微通道分离器，从而置换微通道分离器中空气的未被吸附部分 ;以及

(B) 从该吸附媒介中解吸氧气，并将冲洗流体流经微通道分离器，从而置换微通道分离器中被解吸的氧气。

61. 一种从含有流体成分的流体混合物中分离该流体成分的工艺，该工艺包括 :

(I)(A) 将部分流体混合物流入第一微通道分离器 ;该第一微通道分离器包括多个含有一种第一吸附媒介的第一工艺微通道，一个为流体进入该第一工艺微通道提供流动通道的第一总管，以及一个为流体离开该第一工艺微通道提供流动通道的第一尾管，该第一总管和第一尾管的总的内部体积可达到该第一工艺微通道的内部体积的 40％ ;该流体混合物处于第一微通道分离器内，直至至少一部分该流体成分被该第一吸附媒介所吸附 ;净化该第一微通道分离器，从而从该第一微通道分离器置换该流体混合物的未被吸附部分 ;

(I)(B) 从第一吸附媒介中解吸该流体成分，并将第一冲洗流体流经该第一微通道分离器，从而置换该第一微通道分离器中的被解吸的流体成分 ;

(II)(A) 将另一部分流体混合物流入该第二微通道分离器 ;该第二微通道分离器包括多个含有一种第二吸附媒介的第二工艺微通道，一个为流体进入该第二工艺微通道提供流动通道的第二总管，以及一个为流体离开该第二工艺微通道提供流动通道的第二尾管，该第二总管和第二尾管的总的内部体积可达到第二工艺微通道的内部体积的 40％ ;该流体混合物处于该第二微通道分离器内，直至至少一部分该流体成分被该第二吸附媒介所吸附 ;净化该第二微通道分离器，从而从该第二微通道分离器置换该流体混合物的未被吸附部

分；

(II)(B) 从该第二吸附媒介中解吸该流体成分，并将一种第二冲洗流体流经该第二微通道分离器，从而置换该第二微通道分离器中的被解吸的流体成分。

62. 根据权利要求 61 所述的工艺，其中进行步骤 (I)(A) 的时间与进行步骤 (II)(B) 时间相同。

63. 根据权利要求 61 所述的工艺，其中进行步骤 (I)(B) 与进行步骤 (II)(A) 同时进行。

64. 一种从第二流体成分中分离第一流体成分的工艺，该第一流体成分和第二流体成分存在于第一流体混合物中，该工艺包括：

(I) 将该第一流体混合物与一种第三流体成分混合，从而形成一种第二流体混合物；

(II) 将该第二流体混合物分离为第三流体混合物和第四流体混合物，该第三流体混合物包括第一流体成分和第三流体成分，该第四流体混合物包括第二流体成分和第三流体成分；

(III)(A) 将该第三流体混合物流入第一微通道分离器；该第一微通道分离器包括多个含有一种第一吸附媒介的第一工艺微通道，一个为流体进入该第一工艺微通道提供流动通道的第一总管，以及一个为流体离开该第一工艺微通道提供流动通道的第一尾管，该第一总管和第一尾管的总的内部体积可达到该第一工艺微通道的内部体积的 40％；该第三流体混合物处于该第一微通道分离器内，直至至少一部分第一流体成分被第一吸附媒介所吸附；净化该第一微通道分离器，从而从该第一微通道分离器置换该第三流体混合物的未被吸附部分；

(III)(B) 从该第一吸附媒介中解吸该第一流体成分，并将一种第一冲洗流体流经该第一微通道分离器，从而置换第一微通道分离器中的被解吸的第一流体成分；

(IV)(A) 将第四流体混合物流入第二微通道分离器；该第二微通道分离器包括多个含有一种第二吸附媒介的第二工艺微通道，一个为流体进入该第二工艺微通道提供流动通道的第二总管，以及一个为流体离开该第二工艺微通道提供流动通道的第二尾管，该第二总管和第二尾管的总的内部体积可达到第二工艺微通道的内部体积的 40％；该第四流体混合物处于该第二微通道分离器内，直至至少一部分第二流体成分被第二吸附媒介所吸附；净化该第二微通道分离器，从而从该第二微通道分离器置换该第四流体混合物的未被吸附部分；以及

(IV)(B) 从该第二吸附媒介中解吸该第二流体成分，并将一种第二冲洗流体流经该第二微通道分离器，从而置换第二微通道分离器中的被解吸的第二流体成分。

65. 根据权利要求 64 所述的工艺，其中第一流体成分包括一种烯烃，且该第二流体成分包括一种烷链烃。

66. 根据权利要求 64 所述的工艺，其中该第一流体成分包括乙烯，且该第二流体成分包括乙烷。

67. 一种从含有流体成分的流体混合物中分离该流体成分的工艺，该工艺包括：

(I)(A) 将流体混合物流入第一微通道分离器；该第一微通道分离器包括多个含有一种第一吸附媒介的第一工艺微通道，一个为流体进入第一工艺微通道提供流动通道的第一总管，以及一个为流体离开第一工艺微通道提供流动通道的第一尾管，该第一总管和第一

尾管的总的内部体积可达到第一工艺微通道的内部体积的 40％；该流体混合物处于该第一微通道分离器内，直至至少一部分该流体成分被该第一吸附媒介所吸附；去除该第一微通道分离器中该流体混合物的未被吸附部分；

(I)(B) 从该第一吸附媒介中解吸该流体成分，并将一种第一冲洗流体流经该第一微通道分离器，从而置换该第一微通道分离器中的被解吸的流体成分；

(II)(A) 将步骤 (I)(A) 中从该第一微通道分离器中去除的该流体混合物的未被吸附部分流入第二微通道分离器；该第二微通道分离器包括多个含有一种第二吸附媒介的第二工艺微通道，一个为流体进入该第二工艺微通道提供流动通道的第二总管，以及一个为流体离开该第二工艺微通道提供流动通道的第二尾管，该第二总管和第二尾管的总的内部体积可达到该第二工艺微通道的内部体积的 40％；该流体混合物的未被吸附部分处于该第二微通道分离器内，直至至少一部分流体成分被该第二吸附媒介所吸附；净化该第二微通道分离器，从而从第二微通道分离器置换该流体混合物的未被吸附部分；以及

(II)(B) 从该第二吸附媒介中解吸该第二流体成分，并将一种第二冲洗流体流经该第二微通道分离器，从而置换该第二微通道分离器中的被解吸的第二流体成分。

使用微通道工艺技术通过吸附从流体混合物中分离流体成分的工艺

技术领域

[0001] 本发明涉及一种使用微通道工艺技术，从含有流体成分的流体混合物中分离流体成分的工艺。本发明尤其适合于从含有氧气的资源，例如空气中分离纯净氧气。

背景技术

[0002] 当氧气被用作诸如燃烧、焊接和切割工艺的原材料源时，当原料气中的 O_2 的纯度增加时，燃料电池或化学制造的操作、这些工艺的性能和经济性以及这些工艺所产生的废气的环境容纳能力通常得以改进。

[0003] 空气是 O_2 的主要来源。但空气含有 21％的 O_2，使其余 79％（主要是 N_2）通过使用氧气作为原料源的工艺，从而降低了该工艺的性能而不是增加了其价值。例如，空气中的 N_2 成分可能消耗增压能量，为 NO_x 的形成提供 N，冷却火焰温度，稀释产物气体，并且要求更大、更昂贵的气体处理设备。

[0004] 低温蒸馏是常用的纯化 O_2 的技术。但是，为了生产高纯度的 O_2，这个工艺要求大规模操作，从而获得规模效益。另一种技术是变压吸附 (PSA)。使用 PSA 时，在压力下 O_2 透入吸附剂材料（通常为沸石）内的分子级大小的孔中，这使得它在相同的扩散时间内扩散得比 N_2 稍远一些。当压力被释放时，N_2 被去除得比 O_2 稍快，该 O_2 被孔隙吸附得稍紧密。通过增加许多错流和逆流设计步骤，可以实现 O_2 的纯化。但是，对于这两种技术来说，整个工艺中的增压造成的成本和复杂性是相当大的。第三种技术涉及 KOH 水溶液的电解，其中也产生 H_2。这种技术的电解的成本高，因此很少使用该技术。由于使用纯化的 O_2 的数量和规模很大，上述纯化氧气的技术是不够的。因此，提供一种更有效的纯化氧气的技术成为一个问题。

[0005] 本发明通过提供一种有效的纯化氧气的工艺来解决这个问题。本发明工艺也适用于其它流体的分离。

发明内容

[0006] 本发明涉及一种从含流体成分的流体混合物中分离流体成分的工艺，该工艺包括：

[0007] (A) 将流体混合物流入一种微通道分离器；该微通道分离器包括多个含有一种吸附媒介的工艺微通道 (process microchannel)，一种为流体进入工艺微通道提供流动通道的总管，以及一种为流体离开工艺微通道提供流动通道的尾管，该总管和尾管的总的内部体积约为工艺微通道的内部体积的 40％；该流体混合物处于微通道分离器内，直至至少部分该流体成分被吸附媒介吸附；净化该微通道分离器，从而从微通道分离器置换流体混合物的未被吸附部分；以及

[0008] (B) 从吸附媒介中解吸该流体成分，并使一种冲洗流体流经该微通道分离器，从而置换出该微通道分离器中被解吸的流体成分。

[0009] 在一个实施例中，本发明涉及一种从含有流体成分的流体混合物中分离流体成分的工艺，该工艺包括：(I)(A) 将部分流体混合物流入一第一微通道分离器；该第一微通道分离器包括多个含有一第一吸附媒介的一第一工艺微通道，一为流体进入该第一工艺微通道提供流动通道的第一总管，以及一为流体离开该第一工艺微通道提供流动通道的第一尾管，该第一总管和第一尾管的总的内部体积约为第一工艺微通道的内部体积的 40％；该流体混合物处于第一微通道分离器内，直至至少部分该流体成分被该第一吸附媒介吸附；净化该第一微通道分离器，从而从该第一微通道分离器置换流体混合物的未被吸附部分；

[0010] (I)(B) 从第一吸附媒介中解吸该流体成分，并使一第一冲洗流体流经第一微通道分离器，从而置换也该第一微通道分离器中被解吸的流体成分；

[0011] (II)(A) 将另一部分流体混合物流入一第二微通道分离器；该第二微通道分离器包括多个含有一第二吸附媒介的第二工艺微通道，一为流体进入第二工艺微通道提供流动通道的第二总管，以及一为流体离开第二工艺微通道提供流动通道的第二尾管，该第二总管和第二尾管的总的内部体积约为第二工艺微通道的内部体积的 40％；该流体混合物处于第二微通道分离器内，直至至少一部分该流体成分被第二吸附媒介所吸附；净化该第二微通道分离器，从而从第二微通道分离器置换流体混合物的未被吸附部分；

[0012] (II)(B) 从该第二吸附媒介中解吸该流体成分，并将第二冲洗流体流经该第二微通道分离器，从而置换第二微通道分离器中的被解吸的流体成分。

[0013] 在一个实施例中，本发明涉及一种从一第二流体成分中分离一第一流体成分的工艺，该第一流体成分和第二流体成分存在于一第一流体混合物中，该工艺包括：

[0014] (I) 将该第一流体混合物与第三流体成分混合，从而形成一第二流体混合物；

[0015] (II) 将该第二流体混合物分为第三流体混合物和第四流体混合物，该第三流体混合物包括第一流体成分和第三流体成分，该第四流体混合物包括第二流体成分和第三流体成分；

[0016] (III)(A) 将该第三流体混合物流入一第一微通道分离器；该第一微通道分离器包括多个含有一第一吸附媒介的第一工艺微通道，一为流体进入第一工艺微通道提供流动通道的第一总管，以及一为流体离开第一工艺微通道提供流动通道的第一尾管，该第一总管和第一尾管的总的内部体积约为第一工艺微通道的内部体积的 40％；该第三流体混合物处于第一微通道分离器内，直至至少一部分第一流体成分被第一吸附媒介所吸附；净化该第一微通道分离器，从而从第一微通道分离器置换第三流体混合物的未被吸附部分；(III)(B) 从第一吸附媒介中解吸第一流体成分，并将第一冲洗流体流经第一微通道分离器，从而置换第一微通道分离器中的被解吸的第一流体成分；

[0017] (IV)(A) 将第四流体混合物流入一第二微通道分离器；该第二微通道分离器包括多个含有第二吸附媒介的第二工艺微通道，一为流体进入第二工艺微通道提供流动通道的第二总管，以及一为流体离开第二工艺微通道提供流动通道的第二尾管，该第二总管和第二尾管的总的内部体积约为第二工艺微通道的内部体积的 40％；该第四流体混合物处于第二微通道分离器内，直至至少一部分第二流体成分被第二吸附媒介所吸附；净化该第二微通道分离器，从而从第二微通道分离器置换第四流体混合物的未被吸附部分；以及

[0018] (IV)(B) 从第二吸附媒介中解吸该第二流体成分，并将一第二冲洗流体流经该第二微通道分离器，从而置换第二微通道分离器中的被解吸的第二流体成分。

[0019] 在一个实施例中，本发明涉及一种从含有流体成分的流体混合物中分离流体成分的工艺，该工艺包括：

[0020] (I)(A) 将该流体混合物流入一第一微通道分离器；该第一微通道分离器包括多个含有一第一吸附媒介的第一工艺微通道，一为流体进入第一工艺微通道提供流动通道的第一总管，以及一个为流体离开第一工艺微通道提供流动通道的第一尾管，该第一总管和第一尾管的总的内部体积约为第一工艺微通道的内部体积的 40％；该流体混合物处于第一微通道分离器内，直至至少一部分该流体成分被该第一吸附媒介所吸附；去除该第一微通道分离器中流体混合物的未被吸附部分；

[0021] (I)(B) 从该第一吸附媒介中解吸该流体成分，并将第一冲洗流体流经第一微通道分离器，从而置换第一微通道分离器中的被解吸的流体成分；

[0022] (II)(A) 使步骤 (I)(A) 中的从该第一微通道分离器中去除的流体混合物的未被吸附部分流入一第二微通道分离器；该第二微通道分离器包括多个含有一第二吸附媒介的第二工艺微通道，一为流体进入第二工艺微通道提供流动通道的第二总管，以及一为流体离开第二工艺微通道提供流动通道的第二尾管，该第二总管和第二尾管的总的内部体积约为第二工艺微通道的内部体积的 40％；该流体混合物的未被吸附部分处于第二微通道分离器内，直至至少一部分流体成分被第二吸附媒介所吸附；净化该第二微通道分离器，从而从该第二微通道分离器置换该流体混合物的未被吸附部分；以及

[0023] (II)(B) 从该第二吸附媒介中解吸该第二流体成分，并将第二冲洗流体流经该第二微通道分离器，从而置换该第二微通道分离器中的被解吸的第二流体成分。

[0024] 吸附媒介的温度和 / 或工艺微通道内的压力可随本发明工艺由步骤 (A) 到步骤 (B) 的进展而变化。在一个实施例中，吸附媒介在步骤 (A) 中所处的温度比在步骤 (B) 中的温度低。在这个实施例中，该工艺可被称为变温吸着 (TSS) 或变温吸附 (TSA) 工艺。

[0025] 在一个实施例中，微通道分离器的入口通道和出口通道可以是相同的线路，即该流体可以经相同的微通道分离器的孔 (port) 而被导入该微通道分离器或从该微通道分离器导出，从而减小了必须装备到微通道分离器内的入口的数量。

附图说明

[0026] 在附图中，相同的部分和部件具有相同的标记。

[0027] 图 1 示出了特定形式的本发明工艺的流程图，其中微处理技术被用于从含有流体成分的流体混合物中分离流体成分。

[0028] 图 2 示出了本发明工艺一个实施例的流程图。

[0029] 图 3 示出了本发明工艺的另一个实施例的流程图。

[0030] 图 4 示出了本发明工艺的另一个实施例的流程图。

[0031] 图 5 示出了本发明工艺的另一个实施例的流程图。

[0032] 图 6 示出了本发明工艺的另一个实施例的流程图。

[0033] 图 7 示出了本发明工艺的另一个实施例的流程图。

[0034] 图 8 是用于本发明工艺的多个工艺微通道的剖视图的示意图，该工艺微通道包括一个发热元件。

[0035] 图 9 是用于本发明工艺的工艺微通道的剖视图的示意图，该工艺微通道包括一个

具有流经配置 (flow-by configuration) 的吸附媒介。

[0036] 图 10 是用于本发明工艺的工艺微通道的一个实施例的剖视图，该工艺微通道包括一个具有流过配置 (flow-through configuration) 的吸附媒介。

[0037] 图 11 是用于本发明工艺的微通道分离器的一个实施例的示意图，该微通道分离器包括多个入口总管。

[0038] 图 12 是图 11 所示的多个入口总管所用的入口通道的示意图，该通道处于闭合状态。

[0039] 图 13 是图 11 所示的多个入口总管所用的入口通道的另一示意图，该通道处于开启状态。

[0040] 图 14 是例 4 工艺中所测的温度与时间的关系图。

[0041] 图 15 是例 5 工艺中的 $Log_{10}P_{O2}^{1/2}$（磅 / 平方英尺 (psia)）与温度的关系图。

[0042] 图 16 是一个化合物的化学结构，该化合物可用作一种配体以提供给本发明工艺的吸附媒介。

具体实施方式

[0043] 术语“微通道”是指至少一个高或宽的内部尺寸约为 10 毫米 (mm) 的通道，在一个实施例中约为 5mm，在另一个实施例中约为 2mm。

[0044] 术语“流体”是指气体、液体、含有分散固体的气体或液体，或者它们的混合物。

[0045] 术语“保留时间”，也可称为“平均保留时间”，是指在所用的温度和压力下，流体流经空间的内部体积除以流经该空间的流体的平均体积流速。

[0046] 本发明工艺涉及通过使用微通道分离器，从含有流体成分（例如，O_2）的流体混合物（例如，空气）中分离流体成分。本发明首先参照图 1 进行描述。参照图 1，微通道分离器 100 由一个总管 102、多个工艺微通道 104 和一个尾管 108 组成，其中多个工艺微通道含有一个吸附媒介 106 且平行操作。该总管 102 为流体流入工艺微通道 108 提供通道，该流体被平均或基本平均地分配进入工艺微通道。该尾管 108 为流体以相对高的流速快速流经工艺微通道 104 提供通道。

[0047] 事实上，用于微通道分离器 100 的工艺微通道 104 的数量是没有上限的。例如，微通道分离器 100 所包含的工艺微通道 104 可以为 2 个、3 个、4 个、5 个、6 个、8 个、10 个、20 个、50 个、几百个、几千个、几万个、几十万个、几百万个，等等。每个工艺微通道 104 可以有至少一个高或宽的内部尺寸约为 10mm，在一个实施例中约为 5mm，在一个实施例中约为 2mm，在一个实施例中约为 0.1-1.5mm，在一个实施例中约为 0.5-1mm。

[0048] 总管 102、尾管 108 和工艺微通道 104 可由任何一种能提供足够的强度、尺寸稳定性以及传热特性的材料制成，从而允许本发明工艺的操作。这些材料包括钢、铝、钛、镍、铂、铑、铜、铬、黄铜、上述金属的合金、聚合物（例如，热固树脂）、陶瓷、玻璃、包括一种或多种聚合物（例如，热固树脂）和纤维玻璃的复合物、石英、硅、或其中两种或多种物质的结合物。

[0049] 总管 102 和尾管 108 的总的内部体积约为工艺微通道 104 的总内部体积的 40％，在一个实施例中约为 1-30％，在一个实施例中约为 1-20％，在一个实施例中约为 1-10％，在一个实施例中约为 1-5％。总管和尾管所占空间，以及通向总管和远离尾管的管道，可以

被称为“死区”，这是因为这些部分所含的流体不与吸附媒介 106 接触，从而在本发明工艺中不能进行吸附 / 解吸。将这些死区的体积减少到上述的低水平是很有意义的，因为具有低水平的死区空间时，在较短的循环时间内提供更完全、更有效的流体分离是可能的。因此，使用本发明工艺生产具有相对高的纯度的分离流体成分，例如 O_2，是可能的。

[0050] 本发明工艺可被用于从含有流体成分的任何一种流体混合物中分离任何一种流体成分。这样分离的例子包括 :从空气中分离氧气、从石蜡和烷链烃（例如，乙烷）的混合物中分离烯烃（例如，乙烯），等等。可以被分离或提纯的流体成分包括 :氧气、氢气、氮气、NO_X（例如，NO，NO_2）、CO、CO_2、H_2S、HCN，SO_2、CH_3SCH_3、烯烃（例如，乙烯）、链烷烃（例如，乙烷）、芳香化合物（例如，苯）、异构体、卤代物（例如，氯化物）、硝酸盐、硫酸盐、糖、酯、醇、醚、硝基化合物、羟基胺，或其中两种或多种物质的混合物。

[0051] 本发明工艺的步骤 (A) 可以通过如下方式进行 :将流体混合物经管道 110 流向阀 112，由阀 112 流向管道 114，再由管道 114 流向微通道分离器 100。在微通道分离器 100 内，流体混合物流入总管 102、与吸附媒介 106 接触的工艺微通道 104，以及尾管 108。在所需的温度和压力下，流体混合物处于总管 102、工艺微通道 104 以及尾管 108 内，以便通过吸附媒介 106 吸附至少一部分流体成分。这个过程一直持续到吸附媒介 106 吸附流体成分达到所需的负载。该所需的负载水平的范围约为每克吸附媒介含有 0.0001-1 克流体成分，在一个实施例中约为每克吸附媒介含有 0.001-0.1 克流体成分。吸附步骤的最后是将净化流体经管道 111 流向阀 112，由阀 112 流向管道 114，再从管道 114 流至总管 102、工艺微通道 104 以及尾管 108，从而置换微通道分离器 100 内的未被吸附的部分流体混合物。该净化流体和未被吸附的部分流体混合物流经总管 102、工艺微通道 104 以及尾管 108，然后经管道 116 流向阀 118，经阀 118 流向管道 120，最后经管道 120 流出该系统。或者，该净化流体和未被吸附的部分流体混合物可以以相反的方向流经工艺微通道 104，也就是说，从尾管 108 流经工艺微通道 104，再流向总管 102。

[0052] 本发明工艺的步骤 (A) 的吸附部分可在约 -100℃至 200℃的温度下进行，在一个实施例中约为 -40℃至 50℃。步骤 (A) 的吸附部分中，工艺微通道 104 内的压力可约为 0.01-50 个大气压，在一个实施例中约为 0.1-20 个大气压，在一个实施例中约为 1-10 个大气压。进行吸附的时间可以约为 0.01-100 秒，在一个实施例中约为 0.1-50 秒，在一个实施例中约为 1-10 秒。

[0053] 工艺微通道 104 可通过下述方式被净化，即，将净化流体流经微通道，从而置换未被吸附的部分流体混合物。该净化流体的温度可约为 0-300℃，在一个实施例中约为 40-180℃。在一个实施例中，净化流体的温度约比步骤 (A) 的吸附部分所用的温度高 10-100℃，;在一个实施例中约比步骤 (A) 的吸附温度高 20-80℃，。工艺微通道 104 内的净化流体的保留时间可约为 0.001-100 秒，在一个实施例中约为 0.01-10 秒。能用于氧气提纯的净化流体的例子包括氦、氩、二氧化碳、水蒸气，以及其中两种或多种物质的混合物。除了氧气以外的提纯所用的净化流体包括碳氢化合物（在环境条件下可压缩和不可压缩的）和氮气。

[0054] 或者，工艺微通道内的未被吸附的流体可通过真空来净化。可采用的真空包括采用比工艺微通道内所用的操作压力稍低的压力。该真空可比工艺微通道所用的操作压力低 0.1-10 个大气压。该真空（或压力）可比绝对压力低约 0.01 个大气压。

[0055] 本发明工艺的步骤 (B) 包括从吸附媒介 106 中解吸被吸附的流体成分。这个解吸步骤可通过增加或减少吸附媒介 106 的温度，和 / 或增加或减少工艺微通道 104 内的压力来进行，该温度和压力的增加或减少是相对于步骤 (A) 的吸附部分所采用的温度和压力而言的。步骤 (B) 所采用的压力可以与步骤 (A) 的吸附部分所采用的压力相同。在一个实施例中，相对于步骤 (A) 的吸附部分，步骤 (B) 在较高的温度和较低的压力下进行。步骤 (B) 所用的温度可增加至比步骤 (A) 的吸附部分所用的温度高约 1-200℃，在一个实施例中高约 10-50℃。该温度可升至约为 0-300℃，在一个实施例中，在步骤 (B) 中约为 40-200℃。或者，步骤 (B) 所用的温度可减少至比步骤 (A) 的吸附部分所用的温度低约 1-300℃，在一个实施例中低约 10-100℃。该温度可减少至 20-200℃，在一个实施例中，步骤 (B) 中约为 80-150℃。步骤 (B) 中的工艺微通道内的压力可减少至比步骤 (A) 的吸附部分所用压力低约 0.001-50 个大气压，在一个实施例中低约 0.1-10 个大气压。该压力可减少至约 1-10 个大气压，在一个实施例中的本发明工艺的步骤 (B) 的压力约为 1-8 个大气压。或者，步骤 (B) 中的工艺微通道 104 内的压力可升高至比步骤 (A) 的吸附部分所用压力高约 0.001-50 个大气压，在一个实施例中高约 0.01-10 个大气压。步骤 (B) 的压力可升至约 1-50 个大气压，在一个实施例中约为 1-10 个大气压。步骤 (B) 中被解吸的所吸附材料的百分比可约为 1-100％，在一个实施例中约为 10-80％。对于气态流体，进行解吸步骤的循环时间可约为 0.001-100 秒，在一个实施例中约为 1-10 秒。对于液态流体，进行解吸步骤的循环时间可约为 0.001-300 秒，在一个实施例中约为 1-30 秒。

[0056] 在步骤 (B) 中，冲洗流体流经工艺微通道 104，从而置换工艺微通道 104 内的被解吸的流体成分。冲洗流体的流动可与上述解吸过程同时进行，或在解吸过程完成后进行。冲洗流体的流动直到解吸步骤开始之后才开始，并且持续到解吸步骤完成之后。该冲洗流体经管道 132 流向阀 128，经阀 128 流向管道 130，经管道 130 流向阀 112，经阀 112 流向管道 114，最后经管道 114 流入微通道分离器 100。在微通道分离器 100 内，冲洗流体从总管 102，经与吸附媒介 106 接触的工艺微通道 104，流至尾管 108。该冲洗流体从尾管 108，经管道 116 流向阀 118，经阀 118 流向管道 122，经管道 122 流向阀 124，再从阀 124 流经管道 134，最后从管道 134 流向收集容器 (在图中未示出)。该冲洗流体可以与被分离的流体成分 (例如 O_2) 相同，或者是一种不与被分离的流体成分发生反应的流体。这种非反应性流体的例子包括氦、氩、二氧化碳、水蒸气、氮气，或其中两种或多种物质的混合物。请注意，如果是从空气中分离氧气，则建议使用氮气作为冲洗流体。如果冲洗流体与被解吸的流体成分相同 (例如，如果均未 O_2)，那么不需要进行进一步的分离就能提供流体成分作为本发明工艺所需的产品。如果该冲洗流体不是所需的流体成分，那么就需要通过现有技术 (例如，浓缩、蒸发等)，从所需的流体成分中分离出该冲洗流体。部分冲洗流体可通过下述方式再循环至微通道分离器 100，即，该部分冲洗流体经管道 126 流向阀 128，经阀 128 流向管道 130，经管道 130 流向阀 112，再经阀 112 流向管道 114，最后经管道 114 流入微通道分离器 100。这个过程可一直持续到从微通道分离器 100 中提取所需的流体成分的完成。

[0057] 该冲洗流体的温度可约为 0-200℃，在一个实施例中约为 40-150℃。在一个实施例中，冲洗流体的温度比步骤 (B) 中解吸流体成分的温度高约 1-100℃，在一个实施例中，冲洗流体的温度比解吸过程的温度高约 1-50℃。在冲洗步骤中，工艺微通道内的压力可约为 0.01-50 个大气压，在一个实施例中约为 1-10 个大气压。步骤 (B) 中的工艺微通道

104 内的冲洗流体的保留时间可约为 0.0001-10 秒，在一个实施例中约为 0.001-1 秒。步骤 (B) 中流经工艺微通道的冲洗流体的压降可约为 0.001-10 个大气压，在一个实施例中约为 0.01-1 个大气压。步骤 (B) 中流经工艺微通道 104 的冲洗流体的雷诺数 (Reynolds number) 可约为 1-4000，在一个实施例中约为 10-1500。

[0058] 在步骤 (B) 的终端，吸附媒介 106 可被再生。通过将再生流体流经与吸附媒介 106 接触的工艺微通道 104，可以完成吸附媒介 106 的再生。该再生流体可以是空气、水蒸气、氩、氦、二氧化碳或氮气。该再生流体可从总管 102，流经工艺微通道 104，然后流向尾管 108 ；或者以相反的方向流动，即从尾管 108，流经工艺微通道 104，再流向总管 102。该再生流体的温度可约为 0-200℃，在一个实施例中约为 20-80℃。在一个实施例中，再生流体的温度比步骤 (B) 中所用冲洗流体的温度低约 1-100℃，在一个实施例中低约 40-80℃。在再生步骤中，工艺微通道 104 内的压力可约为 0.01-50 个大气压，在一个实施例中约为 1-10 个大气压。工艺微通道 104 内的再生流体的保留时间可约为 0.0001-10 秒，在一个实施例中约为 0.001-1 秒。

[0059] 在本发明工艺的步骤 (A) 和步骤 (B) 的操作过程中，微通道分离器 100 可通过热交换微通道（图中未示出）进行冷却或加热。热交换流体从热交换总管 142，经热交换微通道，流向热交换尾管 144。如箭头 140 和 146 所示，热交换微通道设置为处于相对于工艺微通道 104 的交叉流动方向。热交换流体在热交换微通道和工艺微通道 104 之间传递热量。可采用现有技术来实现热交换流体的再循环。或者，热交换微通道可被设置为，热交换流体流动，相对于流经工艺微通道 104 的流体的方向，处于共流或逆流方向。每个热交换微通道可以具有至少一个高或宽的内部尺寸约为 2mm，在一个实施例中约为 0.1-1.5mm，在一个实施例中约为 0.5-1mm。热交换微通道可由任何一种能提供足够的强度、尺寸稳定性以及传热特性的材料制成，从而允许本发明工艺的操作。这些材料包括钢、铝、钛、镍、铂、铑、铜、铬、黄铜、上述金属的合金、聚合物（例如，热固树脂）、陶瓷、玻璃、包括一种或多种聚合物（例如，热固树脂）和纤维玻璃的复合物、石英、硅、或其中两种或多种物质的结合物。热交换流体可以是任何一种流体。这些流体包括空气、蒸气、液态水、氮气、液氮、诸如矿物油的油，以及诸如从道－联合碳化公司 (Dow-Union Carbide) 获得的联苯－联苯醚混合物 (Dowtherm) 和导热油 (Therminol) 作为热交换流体。

[0060] 或者，工艺微通道 104 可采用电阻加热器加热。例如，图 8 示出了可延展的电阻加热器 800，该加热器可以是加热带的形式，并位于工艺微通道 104 内部。或者，电阻加热器 800 可以是线状物或类似结构的形式。另一种加热方式包括使用诸如金属泡沫的金属结构，该结构可作为电阻加热器，并可用作吸附媒介 106 的支撑物，该吸附剂材料被涂敷在金属结构的外表面上。另一种可能的加热方式包括使用与吸附媒介相混合的导热微粒。

[0061] 当进入步骤 (A) 的流体混合物为非浓缩的时，在步骤 (A) 中被吸附的流体混合物的体积的至少约 1％在步骤 (B) 中可能被解吸，步骤 (A) 和 (B) 所需时间约为 100 秒，在一个实施例中约为 10 秒。

[0062] 当进入步骤 (A) 的流体混合物为浓缩的时，在步骤 (A) 中被吸附的流体混合物的体积的至少约 1％在步骤 (B) 中可能被解吸，步骤 (A) 和 (B) 所需时间约为 100 秒，在一个实施例中约为 10 秒。

[0063] 在本发明的一个实施例中，工艺微通道 104 可以有一个约为 10mm 的高度或宽度的

内部尺寸，热交换微通道可以有一个约为 2mm 的高度或宽度的内部尺寸。在这个实施例中，如果吸附媒介 106 的有效的热传导性相对较高，那么工艺微通道 104 可以采用相对大的内部高度或宽度，而仍然允许相对快的循环时间。对于大部分基于吸附媒介的聚合物或陶制品，有效的热传导性通常小于 1W/m/K。当通过使用共混的高传导性的粉末，或使用高传导性的吸附媒介，增强了有效热传导性时，可以增加吸附媒介的高度和宽度以及相应的工艺微通道 104 的高度和宽度。对于小于 2W/m/K 的有效热传导性，工艺微通道 104 可有一个约为 2mm 的内部高度或宽度。但是，当有效热传导性增加至高于 2W/m/K 时，可使用约为 10mm 的较大的工艺微通道 104。在这些实施例中，热交换微通道可被用于快速冷却吸附媒介 106。加热微通道或电阻加热可被用于加热吸附媒介 106。

[0064] 在一个实施例中，通过使用对于总流体保留时间无实质贡献的总管 102 和尾管 108，可以获得短的循环时间。例如，如果流体在总管内保留 10 秒钟，则不能获得一秒的循环时间。但是，如果在总管和尾管内的总流体保留时间小于 0.4 秒，则可以获得一秒的总循环时间。

[0065] 对于流体混合物、净化流体和冲洗流体的快速冲洗的总管 102 和尾管 108 的设计，要求在短的保留时间与低的总管和尾管压降之间保持平衡，从而允许适合的流体分配。在一个实施例中，总管 102 和尾管 108 具有几何设计，该设计增强了流经该总管和尾管的流体的流动。有角度的总管和尾管可以减少体积（以及这样的保留时间）和压降，从而获得好的流动分配。该角度可约为 5-90 度。此外，开放式的总管和尾管体积可用下述设计替代，在该设计中，开放式体积仅与工艺微通道 104 直接相连而不出现在叶片、金属板或类似物上。例如，可以用管道由工艺微通道到工艺微通道进行流体的分配（因为圆形或近似圆形的管道内的压降低于矩形到关内的）。由管道到工艺微通道的流动可经由一个锐角的入口区域连接，该锐角的入口区域逐渐缩小为一个较大的矩形工艺微通道。该渐缩的入口区域有利于避免叶片、金属板和类似物的重叠，这些叶片、金属板和类似物可限定总管的总体积。另外，渐缩的或有角度的总管可以防止难于冲洗的不流动区域的形成。

[0066] 在本发明的一个实施例中，分段循环被用于适应所需流体成分的纯度。分段循环的特征在于，以一定的速率打开或关闭位于工艺微通道排列末端的阀，该速率比打开或关闭在吸附媒介床之间移动进料的阀的速率快。这个过程增加流体成分的纯度，并消耗流体混合物直至纯度达到了所需的水平。例如，进料可以在两个吸附媒介床之间转换，其速率为 10 秒，分段循环时间为 1 秒和 9 秒。在解吸阶段，净化流体流经吸附媒介床，从而去除未被吸附的材料，并随后解吸所需的流体成分。在循环的第一部分，流出流体的浓度含有前面的进料循环中保留的全部进料流体混合物的成分。分段循环的第一阶段的温度可以为吸附温度，或比吸附温度稍高，或接近或等于解吸温度。在分段循环的解吸阶段的第一部分，可以去除工艺微通道吸附媒介床上的在前面的进料吸附循环中未被吸附的流体。在分段循环的第一阶段，除了在前面的循环中被吸附的成分，其它成分的浓度都会降低。分段循环的第一部分的排出物被送至排出装置。当产品的纯度达到了所需的要求时，关闭处于工艺微通道排列末端的阀，从而收集解吸的流体排出物作为所需的流体成分产品。分段循环可以在整个循环的任何时间进行。对于一个 10 秒钟的进料循环时间，该分段循环时间可以为 1 秒、5 秒，或任何其它小于 10 秒的值。

[0067] 图 2 所示的工艺与图 1 所示的工艺基本相同，区别在于在图 2 中用管道 202、206、

208，以及阀 200、204 代替了图 1 中的管道 110、114 以及阀 112。另外，在图 2 中，用管道 210、214、218，以及阀 212、216 代替了图 1 中的管道 116、120 以及阀 118。图 2 中的入口管道和阀被设置为允许流经阀 200 和管道 202 的冲洗流体的入口逆向于流经管道 208 和阀 204 的流体混合物的入口。相似地，流经管道 210、122 以及阀 212 的冲洗流体的出口逆向于流经管道 214、218 以及阀 216 的流体混合物的出口。具有这个阀装置，净化流体和冲洗流体可被用于清洗流体混合物所占用的区域，从而快速冲洗系统。在本发明工艺的步骤 (B) 阶段，流体混合出口阀 216 可保持开启状态。一旦在流体混合出口 218 观察到足够的流体成分，就可以关闭阀 216，流体成分随后流经出口阀 212，从而防止经管道 122、134 以及阀 124 流出系统的流体成分的污染。

[0068] 图 3 和图 4 所示的工艺与图 1 所示的工艺相似，区别在于图 3 和图 4 所示的工艺采用了可伸长和缩短的总管和尾管。图 3 所示的设计采用了微通道分离器 300，该微通道分离器包括一个位于总管内的波纹管 301，该波纹管处于收缩状态时标为 301，处于伸展状态时标为 301a。加压流体通过管道 304、308 以及阀 306 进入空间 303，从而压缩波纹管 301。为了使波纹管 301 伸展至标为 301a 的位置，可以经管道 304、308 以及阀 306 去除空间 303 内的加压流体。空间 303 内的波纹管内部的压力相对于其外部的压力的差别，导致波纹管 301 的伸展。相似地，尾管内的波纹管 321 处于收缩状态时标为 321，处于伸展状态时标为 321a。通过管道 324、328 以及阀 326 进入或流出空间 323 的加压流体可提供波纹管 321 的伸展和收缩。可变形的进料管道 310 将入口管道 114 与总管的内部连接起来。可变形的出口管道 311 将出口管道 116 和尾管的内部连接起来。

[0069] 图 4 所示的设计相似于图 3 所示的设计，区别在于微通道分离器 400 包括可伸展的囊状物 401 和 421，这些囊状物用于提供总管和尾管的，而不是波纹管 301 和 321 的伸展和收缩。该囊状物 401 和 421 由可伸展的材料诸如橡胶制成。总管内所用的可伸展的囊状物 401 处于收缩状态时标为 401，处于伸展状态时标为 401a。加压流体经管道 304、308 以及阀 306 进入空间 303，并且该加压流体的使用可影响囊状物 401 的伸展和收缩。相似地，尾管内的囊状物处于收缩状态时标为 421，处于伸展状态时标为 421a。经管道 324、328 以及 326 进入和离开空间 323 的加压流体会影响囊状物 421 的伸展和收缩。

[0070] 当流体混合物、净化流体、冲洗流体或再生流体进入工艺微通道 104 时，使用伸展的总管可以在整个微通道内提供平均的或几乎平均的流体分配。在本发明工艺的净化、冲洗或再生步骤中，使用伸展的尾管可以提供从工艺微通道的快速移动或快速流体冲洗。另一方面，在本发明工艺的吸附和解吸阶段，总管内的波纹管或伸展的囊状物可以减少总管和尾管内的死区的大小，从而提高由本发明工艺所分离得到的流体成分的纯度。在一个实施例中，使用可伸展的波纹管 301、321 或可伸展的囊状物 401、421 可以提供一个总死区体积，而其伸展程度约为 10-40％，在一个实施例中，工艺微通道 104 的内部体积约为 20-40％。另一方面，当处于收缩状态，死区体积可约为 10％，在一个实施例中，工艺微通道 104 的内部体积约为 5％。

[0071] 图 5 所示的工艺涉及两个微通道分离器 100 和 500 的平行使用。这种设置允许一个连续的操作，其中步骤 (A) 在微通道分离器 100 内进行，而步骤 (B) 在微通道分离器 500 内进行，反之亦然。微通道分离器 100 与上述的图 1 所描述的微通道分离器相同。在结构和操作上，微通道分离器 500 与微通道分离器 100 相同或相似。微通道分离器 500 由一个总

管 502、多个含有吸附媒介 506 的工艺微通道 504、以及一个尾管 508 组成。与微通道分离器 100 一样，用于微通道分离器 500 的工艺微通道 504 的数量是没有实质上的限制的。例如，微通道分离器 500 所包含的工艺微通道 504 可以为 2 个、3 个、4 个、5 个、6 个、8 个、10 个、20 个、50 个、几百个、几千个、几万个、几十万个、几百万个，等等。每个工艺微通道有至少一个高或宽的内部尺寸约为 2mm，在一个实施例中约为 0.1-1.5mm，在一个实施例中约为 0.5-1mm。总管 502 和尾管 508 的总的内部体积可达到约为工艺微通道 504 的总内部体积的 40％，在一个实施例中约为 1-30％，在一个实施例中约为 1-20％，在一个实施例中约为 1-10％，在一个实施例中约为 1-5％。与微通道分离器 100 一样，相对低的死区空间体积使得能够进行更加完全地流体分离，并由此得到更纯净的流体成分产品。

[0072] 图 5 所示的工艺涉及工艺步骤 (I)(A)、(I)(B)、(II)(A) 以及 (II)(B) 的使用。步骤 (I)(A) 和 (I)(B) 的操作方式与图 1 所描述的步骤 (A) 和 (B) 的操作方式相同。唯一的区别在于步骤 (I)(A) 最初涉及仅将流体混合物的一部分经管道 550 流向管道 110。因此，上文对图 1 中的步骤 (A) 和 (B) 的描述可使用与图 5 中的步骤 (I)(A) 和 (I)(B) 的描述。

[0073] 图 5 所示的工艺的步骤 (II)(A) 可通过下述方式进行，即，将流体混合物的另一部分经管道 550 流向管道 552，经管道 552 流向管道 510，经管道 510 流向阀 512，经阀 512 流向管道 514，并且经管道 514 流向微通道分离器 500。在微通道分离器 500 内，该流体混合物流入总管 502、与吸附媒介 506 相接触的工艺微通道 504，以及尾管 508。在所需的温度和压力下，将流体混合物保留在总管 502、工艺微通道 504 和尾管 508 内，从而允许至少部分流体成分被吸附媒介 506 吸附。这个过程可一直持续到到吸附媒介 506 吸附流体成分达到所需的负载。该所需的负载水平的范围约为每克吸附媒介含有 0.0001-1 克流体成分，在一个实施例中约为每克吸附媒介含有 0.001-0.1 克流体成分。吸附步骤的最后是将净化流体经管道 511 流向阀 512，由阀 512 流向管道 514，再从管道 514 流至总管 502、工艺微通道 504 以及尾管 508，从而置换微通道分离器 500 内的未被吸附的部分流体混合物。该净化流体和未被吸附的部分流体混合物流经总管 502、工艺微通道 504 以及尾管 508，然后经管道 516 流向阀 518，经阀 518 流向管道 520，最后经管道 520 流出该系统。

[0074] 步骤 (II)(A) 的吸附部分可在约 -40℃至 150℃的温度下进行，在一个实施例中约为 20℃至 100℃。步骤 (II)(A) 的吸附部分中，工艺微通道 504 内的压力可约为 0.01-50 个大气压，在一个实施例中约为 0.1-10 个大气压。进行吸附的时间可以约为 0.0001-100 秒，在一个实施例中约为 0.001-10 秒。

[0075] 净化流体的温度可约为 0-200℃，在一个实施例中，步骤 (II)(A) 阶段的温度约为 40-150℃。在一个实施例中，净化流体的温度约比步骤 (II)(A) 的吸附部分所用的温度高 1-100℃；在一个实施例中约比步骤 (II)(A) 的吸附温度高 10-80℃。工艺微通道 504 内的净化流体的保留时间可约为 0.0001-100 秒，在一个实施例中约为 0.001-10 秒。能用于净化流体的例子包括氦、氩、二氧化碳、水蒸气、氮气，以及其中两种或多种物质的混合物。如上面所提到的，如果是从空气中分离氧气，则建议使用氮气作为净化流体。

[0076] 步骤 (II)(B) 包括从吸附媒介 506 中解吸被吸附的流体成分。这个解吸步骤可通过增加或减少吸附媒介 506 的温度，和 / 或增加或减少工艺微通道 504 内的压力来进行，该温度和压力的增加或减少是相对于步骤 (II)(A) 的吸附部分所采用的温度和压力而言的。步骤 (II)(B) 所采用的压力可以与步骤 (II)(A) 的吸附部分所采用的压力相同。在一

个实施例中，相对于步骤 (II)(A) 的吸附部分，步骤 (II)(B) 在较高的温度和较低的压力下进行。步骤 (II)(B) 所用的温度可增加至比步骤 (II)(A) 的吸附部分所用的温度高约 10-200℃，在一个实施例中高约 20-150℃。该温度可升至约为 80-200℃，在一个实施例中，在步骤 (II)(B) 中约为 100-150℃。或者，步骤 (II)(B) 所用的温度可减少至比步骤 (II)(A) 的吸附部分所用的温度低约 10-150℃，在一个实施例中低约 40-100℃。该温度可减少至约 20-200℃，在一个实施例中，步骤 (II)(B) 中约为 50-100℃。步骤 (II)(B) 中的工艺微通道 504 内的压力可减少至比步骤 (II)(A) 的吸附部分所用压力低约 0.001-10 个大气压，在一个实施例中低约 0.1-1 个大气压。该压力可减少至约 0.1-10 个大气压，在一个实施例中的本发明工艺的步骤 (II)(B) 的压力约为 1-5 个大气压。或者，步骤 (II)(B) 中的工艺微通道 504 内的压力可升高至比步骤 (II)(A) 的吸附部分所用压力高约 0.01-10 个大气压，在一个实施例中高约 0.1-5 个大气压。步骤 (II)(B) 的压力可升至约 0.1-10 个大气压，在一个实施例中约为 1-5 个大气压。步骤 (II)(B) 中被解吸的所吸附材料的百分比可约为 1-100％，在一个实施例中约为 10-80％。进行解吸步骤的循环时间可约为 0.0001-100 秒，在一个实施例中约为 0.001-10 秒。

[0077] 在步骤 (II)(B) 中，冲洗流体流经工艺微通道 504，从而置换工艺微通道 504 内的被解吸的流体成分。冲洗流体的流动可与上述解吸过程同时进行，或在解吸过程完成后进行。冲洗流体的流动直到解吸步骤开始之后才开始，并且持续到解吸步骤完成之后。该冲洗流体经管道 532 流向阀 528，经阀 528 流向管道 530，经管道 530 流向阀 512，经阀 512 流向管道 514，最后经管道 514 流入微通道分离器 500。在微通道分离器 500 内，冲洗流体从总管 502，经与吸附媒介 506 接触的工艺微通道 504，流至尾管 508。该冲洗流体从尾管 508，经管道 516 流向阀 518，经阀 518 流向管道 522，经管道 522 流向阀 524，再从阀 524 流经管道 534，最后从管道 534 流向收集容器（在图中未示出）。该冲洗流体可以与被分离的流体成分（例如 O_2）相同，或者是一种不与被分离的流体成分发生反应的流体。这种非反应性流体的例子与上文所提到的相同。部分冲洗流体可通过下述方式再循环至微通道分离器 500，即，该部分冲洗流体经管道 526 流向阀 528，经阀 528 流向管道 530，经管道 530 流向阀 512，再经阀 512 流向管道 514，最后经管道 514 流入微通道分离器 500。这个过程可一直持续到从微通道分离器 500 中提取所需的流体成分的完成。

[0078] 步骤 (II)(B) 中所用的冲洗流体的温度可约为 0-200℃，在一个实施例中约为 40-150℃。在一个实施例中，冲洗流体的温度比步骤 (II)(B) 中解吸流体成分的温度高约 80-150℃，在一个实施例中，冲洗流体的温度比解吸过程的温度高约 20-100℃。在冲洗步骤中，工艺微通道内的压力可约为 0.01-50 个大气压，在一个实施例中约为 1-10 个大气压。步骤 (II)(B) 中的工艺微通道 504 内的冲洗流体的保留时间可约为 0.0001-100 秒，在一个实施例中约为 0.001-10 秒。步骤 (II)(B) 中流经工艺微通道 504 的冲洗流体的压降可约为 0.001-10 个大气压，在一个实施例中约为 0.1-1 个大气压。步骤 (II)(B) 中流经工艺微通道 504 的冲洗流体的雷诺数可约为 1-4000，在一个实施例中约为 10-1500。

[0079] 在步骤 (II)(B) 的终端，吸附媒介 506 可被再生。通过将再生流体流经与吸附媒介 506 接触的工艺微通道 504，可以完成吸附媒介 506 的再生。该再生流体可以是空气、氮气、氩、二氧化碳、氦、水蒸气。该再生流体可从总管 502，流经工艺微通道 504，然后流向尾管 508；或者以相反的方向流动，即从尾管 508，流经工艺微通道 504，再流向总管 502。该

再生流体的温度可约为 0-200℃，在一个实施例中约为 20-150℃。在一个实施例中，再生流体的温度比步骤 (II)(B) 中所用冲洗流体的温度低约 20-100℃，在一个实施例中低约 40-100℃。在再生步骤中，工艺微通道 504 内的压力可约为 0.001-50 个大气压，在一个实施例中约为 1-10 个大气压。工艺微通道 504 内的再生流体的保留时间可约为 0.0001-100 秒，在一个实施例中约为 0.001-10 秒。

[0080] 在图 5 所示的工艺的步骤 (I)(A)、(I)(B)、(II)(A) 和 (II)(B) 的操作过程中，微通道分离器 100 和 500 可通过使用热交换微通道或电阻加热进行冷却或加热，其使用方式与上文所提到的方式相同。参照图 5，在步骤 (II)(A) 和 (II)(B) 的操作过程中，热交换流体从热交换总管 542，经热交换微通道，流向热交换尾管 544。如箭头 540 和 546 所示，热交换微通道设置为处于相对于工艺微通道 504 的交叉流动方向。可采用现有技术来实现热交换流体的再循环。或者，热交换微通道可被设置为，热交换流体的流动，相对于流经工艺微通道 504 的流体的方向，处于共流或逆流方向。热交换微通道的尺寸和制造材料与上文所提到的相同。

[0081] 图 6 所示的工艺与图 5 所示的工艺相似，图 5 所示的工艺中平行操作微通道分离器 100 和 500。两个工艺的区别在于，图 5 中的管道 550 和 552 被图 6 中的分离器 600 和管道 602、604、606 和 608 所替换。该分离器 600 可以为任何一种传统的分离器，其中包括诸如微通道分离器 100 的微通道分离器。其它适合的分离器的例子包括 :薄膜、蒸馏、吸收、吸附及其类似物。图 6 所示的工艺尤其适合于那些在一个步骤中较难进行分离的分离。例如，从含有烯烃和链烷烃的混合物中分离烯烃。可以用这个工艺实现从乙烷中分离乙烯。该工艺涉及将含有第一流体成分的第一流体混合物和第二流体成分（例如，乙烯和乙烷），经管道 602 流向分离器 600。第三流体成分（例如，氮气）经管道 604 流入分离器 600，其中形成了第二流体混合物（例如，乙烯、乙烷和氮气）。在分离器 600 内，该第二流体混合物被分为第三流体混合物（例如，乙烯和氮气）和第四流体混合物（例如，乙烷和氮气），该第三流体混合物含有第一流体成分（例如，乙烯）和第三流体成分（例如，氮气），该第四流体混合物含有第二流体成分（例如，乙烷）和第三流体成分（例如，氮气）。该第三流体混合物经管道 606 流向管道 110，经管道 110 流向阀 112，经阀 112 流向管道 114，再经管道 114 流入微通道分离器 100，在该微通道分离器中，以上文所提到的方式分离第一流体成分和第三流体成分。相似地，第四流体混合物从分离器 600，经管道 608 流向管道 510，从管道 510，经阀 512 流向管道 514，再经管道 514 流入微通道分离器 500，在该微通道分离器中，以上文所提到的方式从第三流体成分中分离出第二流体成分。

[0082] 图 7 所示的工艺涉及两个微通道分离器 100 和 700 的配套操作的使用。这种排列允许一个相继的操作，其中步骤 (A) 和 (B) 可以在微通道分离器 100 内进行，从而提供从流体混合物中获得流体成分的第一分离，随后在微通道分离器 700 内重复该步骤，从而提供第二分离，该分离为从流体混合物中分离得到的产品流体成分提供更完全地分离。在结构和操作上，微通道分离器 700 与微通道分离器 100 相同或相似。微通道分离器 700 由一个总管 702、多个含有吸附媒介 706 的工艺微通道 704，以及一个尾管 708 组成。与微通道分离器 100 一样，用于微通道分离器 700 的工艺微通道 704 的数量是没有实质上的限制的。例如，微通道分离器 700 所包含的工艺微通道 704 可以为 2 个、3 个、4 个、5 个、6 个、8 个、10 个、20 个、50 个、几百个、几千个、几万个、几十万个、几百万个，等等。每个工艺微通道有至

少一个高或宽的内部尺寸约为 2mm，在一个实施例中约为 0.1-1.5mm，在一个实施例中约为 0.5-1mm。总管 702 和尾管 708 的总的内部体积可达到约为工艺微通道 704 的总内部体积的 40％，在一个实施例中约为 1-30％，在一个实施例中约为 1-20％，在一个实施例中约为 1-10％，在一个实施例中约为 1-5％。与微通道分离器 100 一样，相对低的死区空间体积使得能够进行更加完全地流体分离，并由此得到更纯净的流体成分产品。

[0083] 图 7 所示的工艺涉及工艺步骤 (I)(A)、(I)(B)、(II)(A) 以及 (II)(B) 的使用。步骤 (I)(A) 和 (I)(B) 的操作方式与图 1 所描述的步骤 (A) 和 (B) 的操作方式相同。两者的区别在于，微通道分离器 100 内的，在步骤 (A) 中未被吸附的部分流体混合物在微通道分离器 700 内进行进一步的吸附 / 解吸。

[0084] 图 7 所示的工艺的步骤 (II)(A) 可通过下述方式进行，即，将流体混合物的未被吸附的部分从微通道分离器 100，经管道 116 流向阀 118，经阀 118 流向管道 714，再经管道 714 流向微通道分离器 700。在微通道分离器 700 内，该流体混合物流入总管 702、与吸附媒介 706 相接触的工艺微通道 704，以及尾管 708。在所需的温度和压力下，将流体混合物保留在总管 702、工艺微通道 704 和尾管 708 内，从而允许至少部分流体成分被吸附媒介 706 吸附。这个过程可一直持续到到吸附媒介 706 吸附流体成分达到所需的负载。该所需的负载水平的范围约为每克吸附媒介含有 0.0001-1 克流体成分，在一个实施例中约为每克吸附媒介含有 0.001-0.1 克流体成分。吸附步骤的最后是将净化流体经管道 711 流向阀 118，由阀 118 流向管道 714，再从管道 714 流至总管 702、工艺微通道 704 以及尾管 708，从而置换微通道分离器 700 内的未被吸附的部分流体混合物。该净化流体和未被吸附的部分流体混合物流经总管 702、工艺微通道 704 以及尾管 708，然后经管道 716 流向阀 718，经阀 718 流向管道 720，最后经管道 720 流出该系统。

[0085] 步骤 (II)(A) 的吸附部分可在约 -40℃至 200℃的温度下进行，在一个实施例中约为 -40℃至 100℃，在一个实施例中约为 0-50℃。步骤 (II)(A) 的吸附部分中，工艺微通道 704 内的压力可约为 0.01-50 个大气压，在一个实施例中约为 0.1-10 个大气压。进行吸附的时间可以约为 0.001-100 秒，在一个实施例中约为 0.1-10 秒。

[0086] 流经微通道 704 的净化流体的温度可约为 0-200℃，在一个实施例中，步骤 (II)(A) 阶段的温度约为 40-150℃。在一个实施例中，净化流体的温度约比步骤 (II)(A) 的吸附部分所用的温度高 10-100℃ ；在一个实施例中约比步骤 (II)(A) 的吸附温度高 20-100℃。工艺微通道 704 内的净化流体的保留时间可约为 0.0001-100 秒，在一个实施例中约为 0.001-10 秒。能用于净化流体的例子包括氦、氩、二氧化碳、水蒸气、氮气，以及其中两种或多种物质的混合物。如上面所提到的，如果是从空气中分离氧气，则建议使用氮气作为净化流体。

[0087] 步骤 (II)(B) 包括从吸附媒介 706 中解吸被吸附的流体成分。这个解吸步骤可通过增加或减少吸附媒介 706 的温度，和 / 或增加或减少工艺微通道 704 内的压力来进行，该温度和压力的增加或减少是相对于步骤 (II)(A) 的吸附部分所采用的温度和压力而言的。步骤 (II)(B) 所采用的压力可以与步骤 (II)(A) 的吸附部分所采用的压力相同。在一个实施例中，相对于步骤 (II)(A) 的吸附部分，步骤 (II)(B) 在较高的温度和较低的压力下进行。步骤 (II)(B) 所用的温度可增加至比步骤 (II)(A) 的吸附部分所用的温度高约 10-200℃，在一个实施例中高约 20-100℃。该温度可升至约为 40-200℃，在一个实施例中，

在步骤 (II)(B) 中约为 80-150℃。或者，步骤 (II)(B) 所用的温度可减少至比步骤 (II)(A) 的吸附部分所用的温度低约 10-100℃，在一个实施例中低约 40-200℃。该温度可减少至约 40-200℃，在一个实施例中，步骤 (II)(B) 中约为 80-150℃。步骤 (II)(B) 中的工艺微通道 704 内的压力可减少至比步骤 (II)(A) 的吸附部分所用压力低约 0.001-10 个大气压，在一个实施例中低约 0.1-1 个大气压。该压力可减少至约 0.001-10 个大气压，在一个实施例中的本发明工艺的步骤 (II)(B) 的压力约为 0.1-1 个大气压。或者，步骤 (II)(B) 中的工艺微通道 704 内的压力可升高至比步骤 (II)(A) 的吸附部分所用压力高约 0.001-10 个大气压，在一个实施例中高约 0.1-10 个大气压。步骤 (II)(B) 的压力可升至约 0.001-50 个大气压，在一个实施例中约为 0.1-10 个大气压。步骤 (II)(B) 中被解吸的所吸附材料的百分比可约为 1-100％，在一个实施例中约为 5-80％。进行解吸步骤的循环时间可约为 0.01-100 秒，在一个实施例中约为 0.1-10 秒。

[0088] 在步骤 (II)(B) 中，冲洗流体流经工艺微通道 704，从而置换工艺微通道 704 内的被解吸的流体成分。冲洗流体的流动可与上述解吸过程同时进行，或在解吸过程完成后进行。冲洗流体的流动直到解吸步骤开始之后才开始，并且持续到解吸步骤完成之后。该冲洗流体经管道 732 流向阀 728，经阀 728 流向管道 730，经管道 730 流向阀 118，经阀 118 流向管道 714，最后经管道 714 流入微通道分离器 700。在微通道分离器 700 内，冲洗流体从总管 702，经与吸附媒介 706 接触的工艺微通道 704，流至尾管 708。该冲洗流体从尾管 708，经管道 716 流向阀 718，经阀 718 流向管道 722，经管道 722 流向阀 724，再从阀 724 流经管道 734，最后从管道 734 流向收集容器（在图中未示出）。该冲洗流体可以与被分离的流体成分（例如 O_2）相同，或者是一种不与被分离的流体成分发生反应的流体。这种非反应性流体的例子与上文所提到的相同。部分冲洗流体可通过下述方式再循环至微通道分离器 700，即，该部分冲洗流体经管道 726 流向阀 728，经阀 728 流向管道 730，经管道 730 流向阀 118，再经阀 118 流向管道 714，最后经管道 714 流入微通道分离器 700。这个过程可一直持续到从微通道分离器 700 中提取所需的流体成分的完成。

[0089] 步骤 (II)(B) 中所用的冲洗流体的温度可约为 0-200℃，在一个实施例中约为 20-150℃。在一个实施例中，冲洗流体的温度比步骤 (II)(B) 中解吸流体成分的温度高约 20-100℃，在一个实施例中，冲洗流体的温度比解吸过程的温度高约 40-100℃。在冲洗步骤中，工艺微通道内的压力可约为 0.01-50 个大气压，在一个实施例中约为 0.1-10 个大气压。步骤 (II)(B) 中的工艺微通道 704 内的冲洗流体的保留时间可约为 0.0001-100 秒，在一个实施例中约为 0.001-10 秒。步骤 (II)(B) 中流经工艺微通道 704 的冲洗流体的压降可约为 0.001-10 个大气压，在一个实施例中约为 0.1-1 个大气压。步骤 (II)(B) 中流经工艺微通道 704 的冲洗流体的雷诺数可约为 1-4000，在一个实施例中约为 10-1500。

[0090] 在步骤 (II)(B) 的终端，吸附媒介 706 可被再生。通过将再生流体流经与吸附媒介 706 接触的工艺微通道 704，可以完成吸附媒介 706 的再生。该再生流体可以是空气、氮气、二氧化碳、氦、氩、或水蒸气。该再生流体可从总管 702，流经工艺微通道 704，然后流向尾管 708；或者以相反的方向流动，即从尾管 708，流经工艺微通道 704，再流向总管 702。该再生流体的温度可约为 0-200℃，在一个实施例中约为 40-100℃。在一个实施例中，再生流体的温度比步骤 (II)(B) 中所用冲洗流体的温度低约 10-100℃，在一个实施例中低约 20-80℃。在再生步骤中，工艺微通道 704 内的压力可约为 0.01-50 个大气压，在一个实施例中约为

1-10 个大气压。工艺微通道 704 内的再生流体的保留时间可约为 0.0001-100 秒，在一个实施例中约为 0.001-10 秒。

[0091] 在图 7 所示的工艺的步骤 (I)(A)、(I)(B)、(II)(A) 和 (II)(B) 的操作过程中，微通道分离器 100 和 700 可通过使用热交换微通道或电阻加热进行冷却或加热，其使用方式与上文所提到的方式相同。在步骤 (II)(A) 和 (II)(B) 的操作过程中，热交换流体从热交换总管 742，经热交换微通道，流向热交换尾管 744。如箭头 740 和 746 所示，热交换微通道设置为处于相对于工艺微通道 704 的交叉流动方向。可采用现有技术来实现热交换流体的再循环。或者，热交换微通道可被设置为，热交换流体的流动，相对于流经工艺微通道 704 的流体的方向，处于共流或逆流方向。热交换微通道的尺寸和制造材料与上文所提到的相同。

[0092] 在本发明的一个实施例中，圆柱形的总管阀可与多个诸如图 5-7 所示的微通道分离器一起使用。这些总管阀将工艺总管 (headering)、净化总管、冲洗总管的功能与工艺所需的短的循环实践结合起来。在一个实施例中，至少一个工艺总管，至少一个净化总管和至少一个冲洗总管共存于一个单独的圆柱形部分内，并在朝向该圆柱体的方向上给工艺微通道进料。在操作过程中，该圆柱体沿它的轴旋转，从而随不同的工艺微通道重新排列总管。结果就是总管的改变或流体的变化，该流体流入工艺微通道而不需要增加时间来净化该总管。

[0093] 图 11-13 示出了总管 102 的供替换的设计。该设计涉及图 11 所示的多个入口总管 1100 的使用，该总管替换了图 1 所示的总管 102。多个入口总管 1100 由流体混合物部分 1102、净化流体部分 1104 和冲洗流体部分 1106 组成。进入微通道分离器 100A 的流体混合物经管道 110 流入流体混合物部分 1102，从流体混合物部分 1102 经门 1112 流入敞开部分 1105，随后流入工艺微通道 104。该净化流体经管道 111 流入净化流体部分 1104，从净化部分 1104 经门 1114 流入敞开部分 1105，随后从敞开部分 1105 流入工艺微通道 104。该冲洗流体经管道 130 流入冲洗流体部分 1106，从冲洗部分 1106 经门 1110 流入空间 1105，随后从空间 1105 流入工艺微通道 104。参照图 12 和 13，门 1110 由两个平行的门构件 1130 和 1132 组成。门构件 1132 相对于固定的门构件 1130，从左到右滑动。门构件 1130 包括洞 1122。门构件 1132 包括洞 1120。当处于图 12 所示的位置时，门 1110 被关闭，因而流体不能通过。当处于图 13 所示的位置时，门 1110 处于开启位置，此时滑动构件 1132 移至右边，洞 1120 和 1122 彼此对准，从而提供了一个开口。在设计和操作上，门 1112 和 1114 与门 1110 相似。本领域技术人员可以理解，洞 1120 和 1122 可以具有所需的形状和数量，从而提供所需的流动特性。上述的多个入口总管的优点在于，为从流体混合物的流动到净化流体的流动以及冲洗流体的流动提供一个快速转变。

[0094] 吸附媒介可以具有任何尺寸和适合于装配在工艺微通道内的几何构型。吸附媒介的形式可以是固体微粒（例如，粒状物、粉末或其类似物），该固体微粒的媒介微粒尺寸约为 1-1000μm，在一个实施例中约为 10-500μm，在一个实施例中约为 25-250μm。吸附媒介可由多孔渗水的结构组成，例如泡沫材料、毡状体、填充物或其组合物。用于此处的术语“泡沫材料”是指整个结构上分布有小孔的连续的壁。此处的术语“毡状体”是指其间有空隙的纤维结构。此处的术语“填充物”是指杂乱的线结构，例如钢丝绒。吸附媒介可以具有蜂巢结构或可插入的叶片。该叶片可具有直的通道，或采用偏置的条形叶片的形式。每英寸

的叶片的数目可约为 4-90。叶片的厚度约为 0.001-0.1 英寸。吸附媒介可采用下述形式，即，流过诸如泡沫材料、填充物、粒状物、粉末或丝网结构的流动。图 10 示出了流过结构的例子。在图 10 中，流过吸附媒介 106 被包含在工艺微通道 104 内，如箭头 1000 和 1002 所示，流体流过吸附媒介。吸附媒介可以采用流经结构，例如，具有相邻缝隙的毡状体、具有相邻缝隙的泡沫材料、具有缝隙的叶片结构、在任何附着基材上的洗涤涂层 (washcoat)、或平行于流动方向并具有有利于流动的相应缝隙的丝网。图 9 示出了流经结构的例子。在图 9 中，吸附媒介被包含在工艺微通道 104 内。如箭头 902 和 904 所示，敞开的通道 900 允许流体流经与吸附媒介 106 接触的工艺微通道 104。吸附媒介可被直接洗涤涂敷在工艺微通道的内壁上。吸附媒介可采用一片多孔相邻的材料或处于物理接触的多片材料的形式。在一个实施例中，吸附媒介由邻接材料 (contiguous material) 组成，并具有相邻的多孔性，使得分子可以通过吸附媒介扩散。在一个实施例中，流体流过吸附媒介而不是围绕它。在一个实施例中，吸附媒介的横截面积占约 1-99％，在一个实施例中约占工艺微通道的横截面积的 10-95％。由 BET 测定，吸附媒介的表面积可超过 $1m^2/g$，在一个实施例中超过 $10m^2/g$。

[0095] 吸附媒介可由被配体配位的金属离子组成。该金属离子可与 O_2 或其它被分离的流体成分络合。可用的金属离子包括 Fe(II)、Co(II)、Cu(I)、V(II)、Mn(II)、Mn(III)、Cr(II)、Ag(I)、Rh(I)、Rh(II)、Rh(III)、U(IV)、V(IV)、Ru(II)、Ru(IV)、Ti(III)、Cr(IV)、Bi(III)、Ni(II)、W(V)、W(IV)、Mo(II)、Mo(III)、Mo(IV)、Mo(V)、Mo(VI)，或其中两种或多种物质的组合物。上述的罗马数字标明了离子的氧化状态或化合价。

[0096] 能用于与金属离子配位的配体包括：联吡啶、2,6-[1-(2- 咪唑 -4- 基乙基亚氨基）乙基嘧啶]、轮环藤宁 (cyclen)、仙客木 (cyclam)、席夫碱配体、乙酰基丙酮酸酯或其低聚物或聚合物、羧酸酯、联吡啶或其低聚物或聚合物、卟啉或其低聚物或聚合物、呵啉 (corin) 或其低聚物或聚合物、聚酰胺、蛋白质、8- 羟基喹啉或其低聚物或聚合物、半胱乙酯 (cysteinate) 或其低聚物或聚合物、N- 烷基烷链异羟肟酸、二甲基乙二肟、均二乙基乙烯二氨、或其中两种或多种物质的组合物。配体可包括氟 - 碳键。配体可以为氟化的（例如，全氟化的）。

[0097] 在一个实施例中，金属离子配体的配位化合物可以为轴向配体。这些配体适用于氧气的纯化，这是由于它们倾向于提供与氧原子间的适合的键从而允许加合物的形成，而不会氧化金属。例子包括：咪唑、组氨酸氨基酸、嘧啶、哌啶、4- 甲基氨基嘧啶、4- 二甲基氨基嘧啶、硝酸盐、硫氰酸酯、卤化物，或其中两种或多种物质的组合物。

[0098] 在一个实施例中，吸附媒介可衍生于具有图 16 所示结构的配体。对于快速温度转换操作来说，衍生于这个化合物的吸附媒介可具有高的 O_2 吸附能力，同时具有增强的热导性。请注意，图 6 仅示出了 3 个结合位点单元。但是，例如，几十个、几百个、几千个、几万个、几十万个、几百万个，等等的附加结合位点单元可以在长度和宽度方向延伸为环。如果媒介是以分子级被堆叠，那么就可能有几百万个位点。整个结构可以为固体微粒或薄膜的形式。在图 16 所示的结构中，R 足可以为碳氢化合物组或取代的碳氢化合物组。R 组可以为至少有 4 个碳原子的脂肪族组、芳香族组、或杂环组，在杂环组中患上有一个或多个杂原子（例如，N、S、O）。R 组可以为另一个环结构，例如被修饰的四苯基卟啉，它也能结合氧原子。这些第二结合位点可以与第一结合位点相同或不同。R 组可以为包含附加组的脂肪族和 / 或芳香族碳氢化合物组，该附加组增加空间体积、耐气候性、热稳定性和 / 或热导性。例如，这

些附加组或取代物可以是卤化物（例如，氟化物、氯化物、碘化物）、氰化物、羧酸酯、酯、磷化氢、亚砜、砜、酰胺、附加的脂肪族组、附加的芳香族组、含硝基的组，以及其它 O_2 吸附剂金属螯合物。R 组可以为氟化的（例如，全氟化的）。R 组可以为聚合物组。R 组可以包括诸如咪唑的组，这些组为相对于 O_2 结合位点的吸附剂金属离子中心位点提供轴向组。R 组可包括烯烃和炔烃。诸如 Fe(II)、Co(II)、Mn(II)，或其组合物的金属离子可被嵌入氮的中心以完成吸附媒介的结构。

[0099] 可用的吸附媒介可以是血红蛋白；血赤藓素 (hemoerythyrin)；血蓝蛋白；肌血球素；Co(II)（双（乙酰丙酮）乙二胺四齿席夫 (Schiff) 碱配体）(acacen)；Co(II)（干洞）(dry cave)(N- 甲基咪唑）；Fe(II)（四 -(2- 新戊酰基苯基）卟啉）(H2TpivPP)B；Fe(II)（封端的卟啉）(cappedporphyrin)B；Fe(2- 羟基 -1,10- 邻菲咯啉）$_2^{2+}$（(ophen)$_2^{2+}$）；双（乙基半胱氨酸基 (cysteinato)）氧化钒 (IV)；Cu(I)((1H- 苯并咪唑 -2- 基 - 甲基）磷酸酯）(bimp)；双（二甲基乙二肟基 (dimethylglyoximato)）钴 (II)；双（组氨酸）钴 (II)；二硝酸基 (dinitrato)- 双（均二乙基乙烯二胺）(sym-diethylethylenediamine) 钴 (II)；二氯 - 双（均二乙基乙烯二胺）钴 (II)；[间 - 四（α，α，α，α- 邻 - 新戊酰氨基苯基 (pivalamidophenyl)）卟啉] 钴 (II)；[N, N, - 双（亚水杨基）(salicylicylidene) 二丙烯三氨] 钴 (II)；[2,3,10,11,13,19- 六甲基 -3,10,14,18,21,25- 六氮杂双环 [10.7.7] 二十六 -1,11,13,18,20,25- 己烯 - κ^4N] 钴 (II) 六氟磷酸酯；[N, N'- 双（亚水杨基）乙烯二胺] 钴 (II)；[N,N'- 双 (3- 甲氧基亚水杨基）乙烯二胺] 钴 (II)；[N,N'- 双（亚水杨基）四甲基乙烯二胺] 钴 (II)；[N, N'- 双 (3- 甲氧基亚水杨基）四甲基乙烯二胺] 钴 (II)；[N,N'- 双 (3- 异丙氧基亚水杨基）四甲基乙烯二胺] 钴 (II)；[N,N'- 双 (3- 乙氧基亚水杨基）四甲基乙烯二胺] 钴 (II)；[N, N'- 双 (5- 甲氧基亚水杨基）四甲基乙烯二胺] 钴 (II)；[N, N'- 双 (3-n- 丁氧基亚水杨基）四甲基乙烯二胺] 钴 (II)；[N, N'- 双（亚水杨基）乙烯二胺] 钴 (II)；钴 (II) 卟啉配合物；封装在沸石内的金属 - 氰化物配合物；氰基钴酯 (cyanocobaltate)；含有二铁 (III, IV)、二铜 (II) 或二锰核的血色素、蚯蚓血红蛋白 (hemerythrin) 或血蓝蛋白；N,N'- 二亚水杨基乙烯二胺钴 (II)；钴 - 二 -(3- 甲氧基水杨醛特丁基胺）；[N, N'- 双（亚水杨基）n- 丙基二丙烯三胺] 钴 (II)、1- 甲基咪唑；2- 甲基咪唑；4- 二甲基酰氨基嘧啶；氰基嘧啶；与衍生于乙烯 - 二氨 - 四乙酸、甲基甲基丙烯酸酯和丁基丙烯酸酯的共聚物螯合的钴；双（组氨酸）钴 (II)；[α - 单（邻 - 甲基丙烯酰氨基苯基）-α，α，α - 三（邻 - 新戊酰氨基苯基）卟吩基 (porphinato)] 钴；[内消旋 -α，α，α，α - 四（邻 - 新戊酰氨基苯基）卟吩基]- 铁 (II)；钴 (II) 内消旋 - 四 - 苯基 - 卟啉；钴 (II) 内消旋 - 四 (2- 氯苯基）卟啉；钴 (II) 内消旋 - 四 (4- 氯苯基）卟啉；钴 (II) 内消旋 - 四 (4- 甲氧基苯基）卟啉；钴 (II) 内消旋 - 四 (2,4- 二甲氧基苯基）卟啉；钌 (III) 双（水杨醛）乙烯二亚胺；钌 (III) 双（水杨醛）二乙烯三亚胺；钌 (III) 双 -(吡啶醛 (picolinaldehyde))- 邻 - 亚苯基二亚胺；钌 (III) 双（吡啶醛）乙烯二亚胺、钌 (III) 双（吡啶醛）二乙烯三亚胺；双（二甲基乙二肟基）镍 (II)；双（二甲基乙二肟基）钴 (II)；双（二甲基乙二肟基）铜 (II)；二硝酸基 - 双（均二乙烯二胺）钴 (II)；二氰硫基 - 双（均二乙烯二胺）钴 (II)；二氯 - 双（均二乙基乙烯二胺）钴 (II)；钴二 -（水杨醛）-3,3'- 二亚胺 - 二 - 邻 - 丙基氨；N, N'- 二亚水杨基乙烯二氨钴 (II)；N, N'- 乙烯 - 双 (5- 硝基 - 亚水杨基 - 亚氨基 (iminato)) 钴 (II)，或其中两种或多种物质的组合

物。

[0100] 吸附媒介可以是无机物。可用的无机吸附媒介的例子包括：Sb_2O_5、AgO、PtO、CrO_2、PbO、HgO、Cu_2O、MnO、Mn_2O_3、Bi_2O_4、NiO、NiO_2、Cu_2O_3、SnO、SnO_2、WO_2、WO_3、W_2O_5、全氟化的薄膜、Pt/γ-氧化铝、Fe/γ-氧化铝、Cu/γ-氧化铝、Zn/γ-氧化铝、Co/γ-氧化铝、沸石，或其中两种或多种物质的组合物。这个组包括金属氰化物的低聚物和聚合物。这些低聚物或聚合物的分子式为 $[Cu(I)(CN)_x]_n$、$[Fe(II)(CN)_y]_n$ 或 $[Co(II)(CN)_y]_n$，其中 x 为 3，y 为 5 且 n 至少为 2，在一个实施例中约为 2-16,500，在一个实施例中约为 1000-10,000。

[0101] 吸附媒介可包括银、金、铂、钯、镍、沸石、硅胶，或其中的两种或多种物质的组合物。

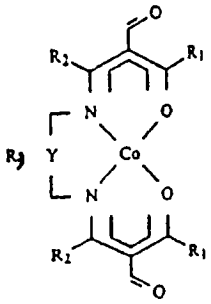
[0102] 在一个实施例中，吸附媒介包括反应性配位吸附剂，在相对高的温度下，该吸附剂与流体成分形成可逆的化学配位，其中流体成分被吸附媒介表面吸附。在较低的温度下，化学反应是可逆的，并且配位的流体再生为更纯的形式。

[0103] 吸附媒介可包括抗氧化剂。这样的例子包括二胺、苯酚磷酸盐、亚磷酸盐、酚醛树脂 (phenolics)、双酚醛树脂、羟胺、烯烃羧酸酯、氨基羧酸酯（例如，乙烯二胺四乙酸及其盐）、维生素 E、二-叔丁基-对-甲酚、锡盐、锡的氧化物、山梨酸酯、聚山梨醇酯，或其中两种或多种物质的组合物。

[0104] 吸附媒介可在支撑物上形成。该支撑物可以是硅胶、泡沫状铜、烧结的不锈钢纤维、氧化铝、聚（甲基甲基丙烯酸酯）、聚磺酸酯、聚（四氟乙烯）、铁、镍海绵体、尼龙、聚乙二烯二氟化物、聚丙烯、聚乙烯、聚乙烯乙基酮、聚乙烯醇、聚乙烯乙酸酯、聚丙烯酸酯、聚甲基甲基丙烯酸酯、聚苯乙烯、聚苯烯硫化物、聚砜、聚丁烯，或其中的两种或多种物质的组合物。

[0105] 在一个实施例中，吸附媒介可由孔隙 (lacunar) 钴配体组成，例如，如美国专利 4,680,037 所描述的。简要地，这些配合物的分子式如下所示：

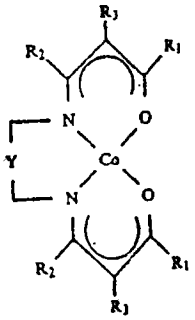
[0106]



[0107] 其中，每个 R_1 可分别为氢、苯基或 C_1-C_6 的烷基；每个 R_2 可分别为氢或 C_1-C_6 的烷基；R_3 是与两个羰基碳相连的 C_4-C_{30} 的烃基自由基；Y 是邻-苯烯，$-CH_2)_a$，其中“a”为 2 或 3，$-CH_2)_bN-R_4-CH_2)_C$，其中“b”和“c”分别为 2 或 3，R_4 为氢或 C_1-C_{12} 的烷基。这个专利在此处作为参考，用于公开上述的配合物。

[0108] 在一个实施例中，吸附媒介可由柱状的钴配合物组成，例如，如美国专利 4,735,634 所描述的。简要地，这些配合物的分子式如下所示：

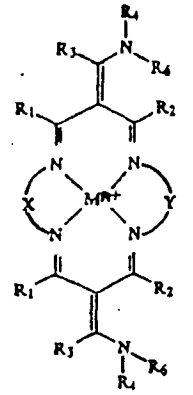
[0109]



[0110] 其中，每个 R_1 可分别为苯基或 C_1-C_6 的烷基；每个 R_2 可分别为氢、苯基或 C_1-C_6 的烷基；R_3 是琥珀酰亚胺基，其中在 α 碳原子至酰亚氨羰基碳原子上被 C_3 或更大的烃基官能团所取代，或者是具有比 C_1 更大的烃基取代基的羰基官能团，且当所述取代基为甲基时，R_2 不为氢；Y 是邻－苯烯，$-CH_{2-a}$，其中“a”为 2 或 3，$-CH_{2-b}NR_4-CH_{2-c}$，其中“b”和“c”分别为 2 或 3，R_4 为氢或 C_1-C_{12} 的烷基。这个专利在此处作为参考，用于公开上述的配合物。

[0111] 在一个实施例中，吸附媒介可由阳离子－金属干洞配合物的盐组成，例如，如美国专利 4,888,032 所描述的。简要地，这些配合物的分子式如下所示：

[0112]



[0113] 其中，M 为 Co、Fe、Cr 或 Mn，X、Y、R_1、R_2 和 R_4 为氢、烷基或取代基，两个 R_3 和／或两个 R_6 形成有机桥基，这些化合物的衍生物具有各种附着在金属原子上的轴配体。这个专利在此处作为参考，用于公开上述的配合物。

[0114] 例 1

[0115] 吸附媒介，即［内消旋－α，α，α，α－四（邻－新戊酰氨基苯基）卟啉基］铁(II)，通过使用下述设备，被测试用于从空气中回收氧气，该设备包括：装配了克拉克类型的对氧气敏感的电极的舒伦克 (Schlenk) 管道玻璃支管系统，能确保系统处于大气压下的油泡，以及氦的超高纯 (UHP) 资源，该对氧气敏感的电极能在百万分之一至百分之一的范围内检测氧气。通过使用氦（零氧气）和校准气（在氮气中有 0.998％的氧气），在氧气传感器上进行两个级别的校准。吸附媒介，0.57g，被放入舒伦克样品容器中，并被冷却至 0.0℃，同时与空气接触。该样品容器附在支管系统上，并被液氮 (-196℃) 进一步冷却。

[0116] 在吸附媒介被从氧气传感器中分离的同时，使用 UHP 氦气清除系统中的空气。一旦支管系统中的氧气水平将指令，氦气流 (1.0cc/sec) 通过该样品容器，从而清除容器中过量的空气。在最初的增长之后，氧气水平降至 0.857％，到此处后氧气水平达到稳定。移开液氮，并在氦气流下使用循环水浴加热样品。该样品被加热至 22℃，同时测定释放的 O_2。温度升至 80℃。未观察到另外的 O_2 的释放。氧气的释放为 4.11vol％。O_2 吸附媒介负载

能力为 5.7mg O_2/gm 吸附剂。

[0117] 例 2

[0118] 重复例 1 的程序。在例 1 中观察到的达到稳定的现象在这个测试中也被观察到，在该处得到 0.858％的稳定的氧气浓度。这个结果显示吸附媒介（在 -196℃下）以恒稳态速率失去氧气至氦气净化气相，这是因为由氦气净化流提供低的氧气局部压力。移去液氮，并使用循环水浴加热样品。在 0.5cc/sec 的氦气流下，负载了 O_2 的吸附媒介被加热至 -0.6℃，并用串联的 O_2 传感器分析。当在流速为 0.50ml/sec 的流体中收集 O_2，O_2 的释放为 21.54vol％。O_2 吸附媒介的负载能力为 14.9mg O_2/gm 吸附剂。

[0119] 例 3

[0120] 进行例 2 所用的程序 3 次以上，除了在 O_2 解吸阶段作为闭合体系。更高的温度不会导致氧气的进一步解吸，表明氧气在低的 P_{02} 值下被完全清除。第三次实验涉及例 1 所用的吸附媒介和闭合体系的使用；一旦该系统被净化，该系统就被密封，并且样品被加热至 -1.9℃。从吸附媒介解吸的氧气的量导致氧气含量增加至 3.76mol％。这个增长持续 5 分钟，然后维持该常数 150 分钟，显示在闭合系统内没有漏出物。这三个试验的第一个用批处理方式分析（在 22℃下的解吸阶段没有氦气流过）。下述的结果被获得。

[0121] 结果 入口参数：

[0122] O_2 ＝ 3.76mol％ Vol ＝ 50cc

[0123] 总摩尔气体＝ 0.0021 摩尔 R ＝ 82.06 卡 / 度 • 毫摩尔

[0124] 总毫摩尔 O_2 ＝ 0.08 毫摩尔 T ＝ 295.15° K

[0125] O_2 的重量＝ 2.49 毫克 P ＝ 1 大气压

[0126] 吸附媒介重量＝ 0.5725 克

[0127] 吸附媒介能力＝ 4.34 毫克 • O_2/ 克

[0128] 例 4

[0129] 含有吸附媒介的工艺微通道在超过 20℃的温度范围进行至少 10 秒钟的热循环。该设备由含有粉状吸附媒介的工艺微通道组成，该工艺微通道与含有冷却流体的一系列热交换微通道相交错。含有中心电阻加热器的微通道吸附媒介侧接于厚为 0.635mm，宽为 2.39cm，长为 4.57cm 的吸附媒介床，该中心电阻加热器有两个平行的镍铬铁合金条，每一个厚 0.018cm、宽 1.27cm、长为 7.6cm，其电阻为 0.5Ω/m，并涂敷有 0.064mm 的聚酰亚胺胶带 (McMaster-Carr 供应公司）。吸附媒介材料是由西格玛 - 阿德瑞奇公司 (Sigma-Aldrich) 提供的 5,10,15,20- 四苯基 -21H,23H- 卟啉钴 (I I) 的细粉（＜ 90μ）。吸附媒介与两种尺寸的惰性 25％ (vol) 的金刚石微粒相混合：15％ (vol)70/80 目和 10％ (vol)170/200 目（人造工业金刚石 (Man-MadeIndustrial Diamond)，GE 的商标）。该混合物被震动并被平均分配。该混合物所测定的有效的热传导性为 1W/m/k。钻石粉末的加入将吸附媒介的有效热传导性从没有钻石粉末的条件下测定的 0.2-0.3W/m/k 增加到 1W/m/k。

[0130] 相邻的两个工艺微通道是两个冷却剂微通道，每个高 0.51mm、宽 3.05cm、长 4.45cm，其总内部体积为 1.38cm^3。水 (50％）/ 丙烯乙二醇 (50％）的混合物为冷却流体，在循环的冷却部分阶段，该混合物维持在 25℃下，流速为 7.5L/min。冷却剂被循环出电阻加热器的阶段，使得冷却剂流体在电阻加热器的非循环期间继续流动。

[0131] 加热和冷却的循环时间是可变的。图 14 示出了吸附媒介、加热器表面以及冷却剂

通道壁的温度。在 4 秒的循环时间（2 秒加热以及 2 秒冷却）时，吸附媒介在 80-100℃之间被加热或冷却 20℃。

[0132] 冷却剂侧面由两个微通道组成，该两个微通道侧接于两个工艺微通道，每个微通道通过厚为 0.102cm 的铜壁与其相邻的吸附媒介分开。冷却剂微通道进入或离开单独的总管和单独的尾管。该总管具有三角形的通道，且在三角形的大的末端有冷却剂入口。该总管厚为 0.594cm，且覆盖两个微通道。其长度为 4.572cm，基座的宽为 0.617cm，相应的体积为 0.838cm^3。总管体积为冷却剂通道体积的 60.8%。总管内的平均保留时间为 0.11 毫秒。尾管与总管相同，其中冷却剂出口在三角形的底部。但是，对于流经冷却剂通道的 z- 类型的流动模式，它的方向与总管的方向相反。尾管体积是冷却剂通道体积的 60.8%。尾管内的保留时间为 0.11 毫秒。冷却剂通道内的保留时间为 0.18 毫秒。

[0133] 在一个可选择的实施例中，在每个工艺微通道上的总管和尾管可以是三角形的。在这样的例子中，总管体积约为冷却剂通道体积的 20%或更小。总管内的平均保留时间可约为 0.04 毫秒。相同的关系也应用于尾管。

[0134] 在氧气的吸附和解吸阶段，总管和尾管内的空气和冲洗流体的总保留时间可少于工艺微通道内的保留时间的 40%。总管和尾管的体积可少于发生吸附作用的微通道的体积的 40%。

[0135] 例 5

[0136] 通过内消旋 - 四（α，α，α，α - 邻 - 新戊酰氨基苯基）卟啉铁（II）的 O_2 的吸附的热焓和熵的变化分别为 -15.6kcal/mole 和 -38cal/deg-mole。对于特定温度的 K_{eq} 由 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ 计算得到，其中 T 为绝对温度，当结合 $\Delta G = -RTInK_{eq}$。例如，在 20℃下，数值位 $K_{cq} = 2400atm^{-1}$，$P^{1/2} = 0.31torr$（$P^{1/2} = 1/K_{eq}$），其中 $P^{1/2}$ 是压力，在特殊的温度下，此处吸附媒介位点的一半都充满了 O_2 分子。下述数据被计算：

[0137] lnK_{eg} Temperature $P^{1/2}$

[0138] $Ln(atm^{-1})$ ℃ Atm psia

[0139] 5.34±0.02 50.0 0.004796 0.07050

[0140] 6.25±0.05 37.0 0.001931 0.02838

[0141] 7.56±0.02 25.0 0.000521 0.00766

[0142] 7.78±0.13 20.0 0.000417 0.00613

[0143] 9.76±0.13 -0.1 5.77E-05 0.00085

[0144] 这些数据适用于线性最小平方，使用西格玛图形软件（SigmaPlotsoftware）生成下述关系：

[0145] $Log_{10}P^{1/2} = 0.0387*T-4.2079$

[0146] 其中 $R^2 = 0.9947$，T 为摄氏度，P 为大气压，或

[0147] $Log_{10}P^{1/2} = 0.0387*T-3.0406$

[0148] 其中 $R^2 = 0.9947$，T 为摄氏度，P 为绝对磅 / 平方英尺（psia）。

[0149] 上述的第二个等式用于计算一系列在所需的温度范围内的 $Log_{10}P^{1/2}$ 值。这些数值列于下述的表 1 中，并在图 15 中制图。这些等式或直线图构成了本发明工艺的“工作曲线”，因为从中可获取纯化的 O_2 的生产、工艺模型以及相关的微通道设备设计的信息。

[0150] 下面是使用下面的图 15 和表 1 数据模拟本发明工艺的例子。由于在海平面上的

空气中的 O_2 的局部压力为 0.21 个大气压，在 20℃下，吸附媒介负载近 100％的 O_2 的容量，这是因为这个吸附媒介仅要求 4.08×10^{-4} 个大气压的 O_2 局部压力，从而在 20℃下负载 50％的 O_2 的容量。负载 O_2，q 的吸附媒介的部分从 $P^{1/2}$ 计算如下：

[0151] $\theta/(1-\theta) = P_{O2}/P^{1/2} = (0.21atm)/[(10^{-2.2692}psia)/(14.7psia/atm)] = 573.8$

[0152] 得到 $\theta = 0.998$ 或吸附媒介负载至 99.8％的容量。因此，在 P_{O2} 为 0.21 的大气平衡压，温度为 20℃的条件下，吸附媒介负载 99.8％。

[0153] 为了使用上述的本发明工艺的负载材料生产 6.8 个大气压的化学加压的纯得 O_2 产品，表 1 和图 15 中的信息被用于测定如下所需的温度跃变。解吸的近似温度由图 15 读取，读取当 log $P^{1/2}$ 为 log(99.7) 时的温度，或“y”值为 2.00，温度则为 130℃。对于这个例子，在空气供应在 1atm 和 20℃下，130-20 = 110℃的温度跃变是产生 85psig 纯化的氧气所需的。

[0154] 小的温度循环范围是本发明工艺所需的，因为该工艺要求循环吸附媒介及其容器物质的温度，它确定了完成温度变化所需的能量，以及对于给定的可获得的热回流的温度变化速率。通过下述方式，可以由对于这个例子的特定吸附媒介的上述等式测定最小的温度跃变。由于 20℃负载是所需的，吸附媒介可在高于 20℃的温度下被完全负载。

[0155] 使用这些本发明工艺的温度效应的计算如下：

[0156] 使用该等式：

[0157] $\theta/(1-\theta) = P_{O2}/P^{1/2}$

[0158] $Log_{10}P^{1/2} = 0.0387*T-3.0406$

[0159] 输入参数：

[0160] T_1 = 负载 / 吸附温度 (T_{sorb})

[0161] T_2 = 解负载 / 解吸温度 (T_{desorb})

[0162] $P^{T1}_{O2} = 0.21atm = 3.09psia$

[0163] $P^{T2}_{O2} = 99.7psia$

[0164] 解两个等式和两个未知数，首先计算两个 $P^{1/2}$ 值、$Log_{10}P^{1/2}{}_{T1}$ 以及 $Log_{10}P^{1/2}{}_{T2}$。对于上述的输入参数，这些分别为 -0.465 和 +2.95(psia 单位)。那么两个温度计算如下：

[0165] $T_{sorb} = 66.6℃$

[0166] $T_{dcsorb} = 154.9℃$

[0167] 该温度跃变是这两个温度之间的差，或 88.3℃，该温度跃变是随纯化并加压的氧气的产生而影响上述吸附剂负载变化所需的。

[0168] 40℃的温度变化，在一个实施例中为 20℃或更少，是适合的。较小的温度跃变仅仅表示在循环阶段，留下的吸附媒介伴有一些未被解吸的 O_2。在一个实施例中，在吸附循环阶段吸附媒介被完全负载，并在解吸循环阶段被全部或部分的解吸，正如选择实践本发明的温度和温度跃变循环所提供的。

[0169] 表 1

[0170] 温度 (℃)	$Log_{10}P^{1/2}$ (log psia)
[0171] -0.1000	-3.0447
[0172] 0.9020	-3.0059
[0173] 1.9040	-2.9671

[0174]	2.9060	-2.9283
[0175]	3.9080	-2.8896
[0176]	4.9100	-2.8508
[0177]	5.9120	-2.8120
[0178]	6.9140	-2.7733
[0179]	7.9160	-2.7345
[0180]	8.9180	-2.6957
[0181]	9.9200	-2.6569
[0182]	10.9220	-2.6182
[0183]	11.9240	-2.5794
[0184]	12.9260	-2.5406
[0185]	13.9280	-2.5019
[0186]	14.9300	-2.4631
[0187]	15.9320	-2.4243
[0188]	16.9340	-2.3855
[0189]	17.9360	-2.3468
[0190]	18.9380	-2.3080
[0191]	19.9400	-2.2692
[0192]	20.9420	-2.2304
[0193]	21.9440	-2.1917
[0194]	22.9460	-2.1529
[0195]	23.9480	-2.1141
[0196]	24.9500	-2.0754
[0197]	25.9520	-2.0366
[0198]	26.9540	-1.9978
[0199]	27.9560	-1.9590
[0200]	28.9580	-1.9203
[0201]	29.9600	-1.8815
[0202]	30.9620	-1.8427
[0203]	31.9640	-1.8040
[0204]	32.9660	-1.7652
[0205]	33.9680	-1.7264
[0206]	34.9700	-1.6876
[0207]	35.9720	-1.6489
[0208]	36.9740	-1.6101
[0209]	37.9760	-1.5713
[0210]	38.9780	-1.5325
[0211]	39.9800	-1.4938
[0212]	40.9820	-1.4550

[0213] 41.9840 -1.4162

[0214] 42.9860 -1.3775

[0215] 43.9880 -1.3387

[0216] 44.9900 -1.2999

[0217] 45.9920 -1.2611

[0218] 46.9940 -1.2224

[0219] 47.9960 -1.1836

[0220] 48.9980 -1.1448

[0221] 50.0000 -1.1060

[0222] 60.0000 -0.7191

[0223] 70.0000 -0.3322

[0224] 80.0000 0.0548

[0225] 90.0000 0.4417

[0226] 100.0000 0.8287

[0227] 110.0000 1.2156

[0228] 120.0000 1.6026

[0229] 122.0000 1.6800

[0230] 124.0000 1.7574

[0231] 126.0000 1.8348

[0232] 128.0000 1.9122

[0233] 130.0000 1.9895

[0234] 132.0000 2.0669

[0235] 132.5000 2.0863

[0236] 133.0000 2.1056

[0237] 例 6

[0238] 通过使用例 4 所描述的设备，本发明工艺被用于影响氧气的分离。10 个工艺微通道散置于 11 个冷却剂微通道之间。所有微通道的尺寸与例 4 所描述的相同。总循环时间为 4 秒，其中吸附时间为 2 秒，解吸时间为 2 秒。吸附媒介在 80-100℃之间循环，从而分别吸附和解吸氧气。

[0239] 用于这个例子的设计的特征涉及总管和尾管，其与进料阀和阶段末端的阀相连，这些阀将流出流体送至排出装置或产品回收。进料阀之后，圆柱形的管道将流体与 10 个工艺微通道连接起来。吸附媒介具有一个电阻加热元件，该电阻加热元件置于两个工艺微通道之间，并于两个工艺微通道相侧接。冷却剂微通道位于工艺微通道的外侧上。圆柱形的管道的内部尺寸为 2.54mm 且流程长 35mm，从而总体积约为 0.7cc。与该管道相连的是一个三角形的总管，该总管将流体送至 10 个吸附媒介床中的每一个。该三角形连接处有一个基座，该基座相当于工艺微通道吸附媒介间隙加上电阻加热器 (1.45mm)，且其宽度为 2.39cm。圆形连接管道的切线到吸附媒介床的入口的距离为 6.35mm。该三角形的总管为 45 度角。每个工艺微通道的总管的总体积为 0.11cc。10 个总管和进料阀处的连接管道的总死区体积为 1.8cc。10 个工艺微通道的总体积为 13.3cc。总管系统中的体积百分数约为

吸附媒介总体积的 13%。尾管的设计与总管相似。

[0240] 在 25℃,1 个大气压下,流经系统的空气的流速为每分钟 10 公升。工艺微通道吸附媒介床内的平均保留时间为 80 毫秒。总管系统内的平均保留时间为 6 毫秒。尾管内的平均保留时间稍长,这是因为氧气在工艺微通道吸附媒介床内被吸附。

[0241] 空气进料在吸附媒介床的两个可替换的微通道排列之间循环。氧气在第一阶段被吸附,然后在第二阶段被解吸。对于一个 2 秒的循环时间,用 6 毫秒的时间冲洗由总管来的净化流体,并用稍长于 6 毫秒的时间净化尾管。

[0242] 在解吸循环阶段的净化流体的流动少于在进料循环阶段的空气进料。净化流体为氧气或流体。对于流体来说,该压力可高于吸附压力。对于流体的净化流体来说,要求较高的解吸温度,从而防止水的浓缩。对于流速为每分钟 1 公升的净化流体来说,总管系统内的平均保留时间为 0.06 秒。尾管内的平均保留时间为 0.06 秒,或由于氧气被解吸而稍小。工艺微通道吸附媒介床排列内的平均保留时间约为 0.8 秒。

[0243] 电阻加热被用于加热吸附剂,例 4 所描述的冷却剂流体被用于冷却吸附剂床。

[0244] 当结合各种详细的实施例阐述本发明时,可以理解,在阅读说明书的基础上,它的各种改变对于本领域的技术人员来说是显而易见的。因此,可以理解,此处所公开的本发明试图覆盖落入附加权利要求范围之内的改变。

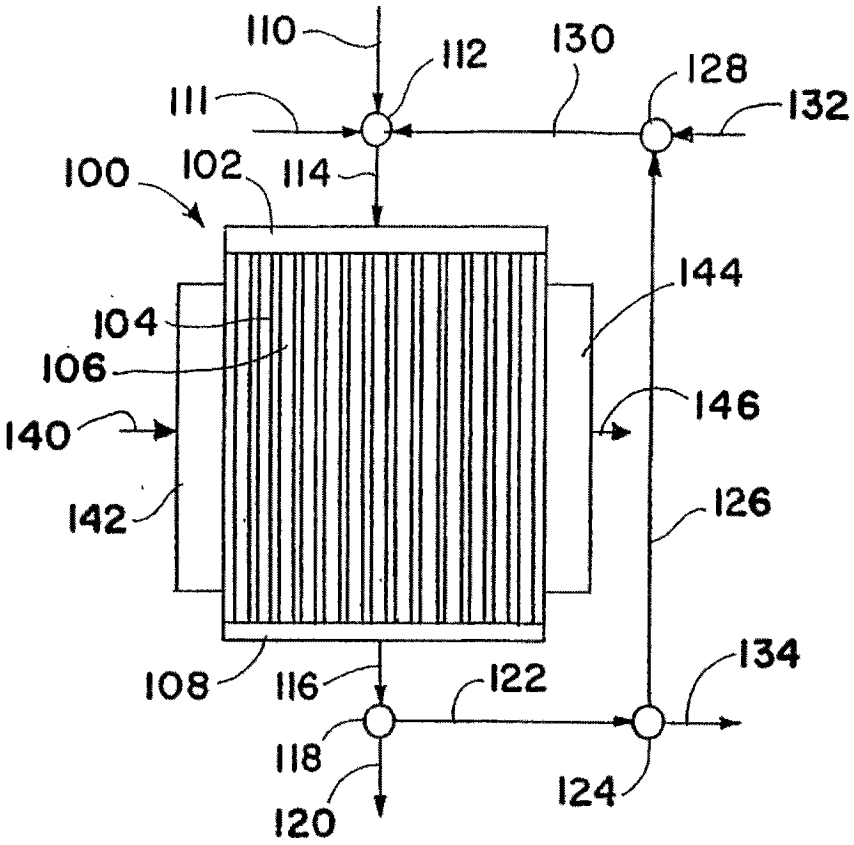

110
112
130
128
132
111
114
100
102
144
104
106
146
140
126
142
108
116
122
134
118
124
120

图 1

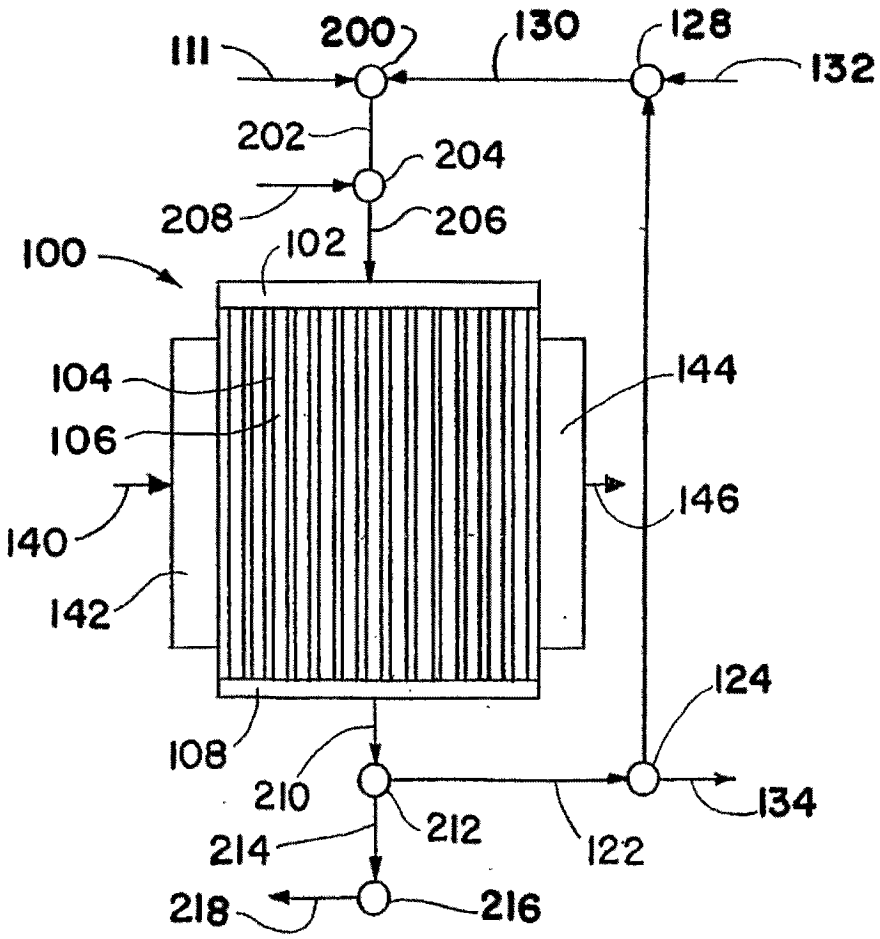

111
200
130
128
132
202
204
208
206
100
102
104
106
144
140
146
142
124
108
210
212
134
214
122
218
216

图 2

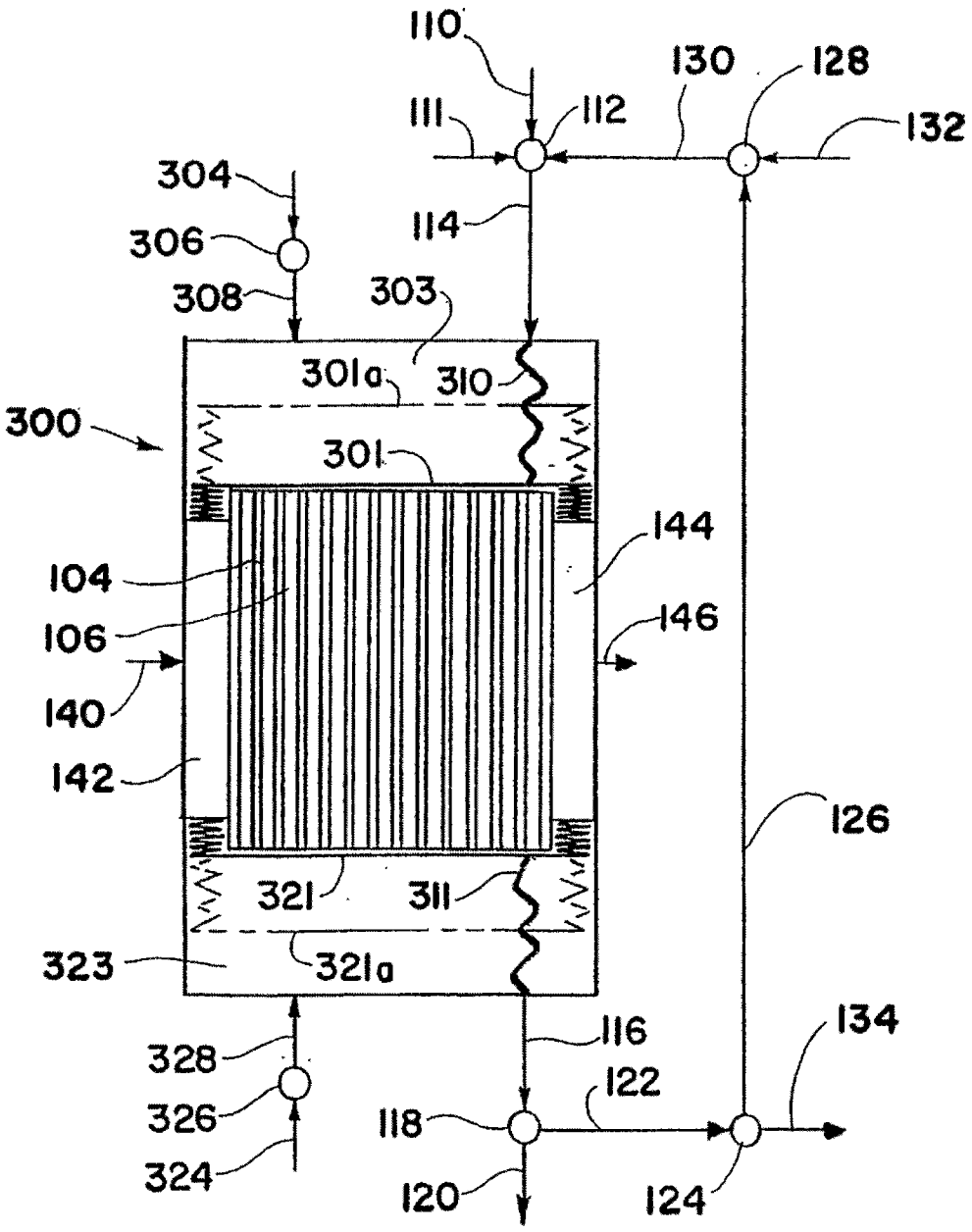

110
111
112
130
128
132
304
306
308
303
114
301a
310
300
301
144
104
106
146
140
142
126
321
311
323
321a
116
134
328
326
324
122
118
120
124

图 3

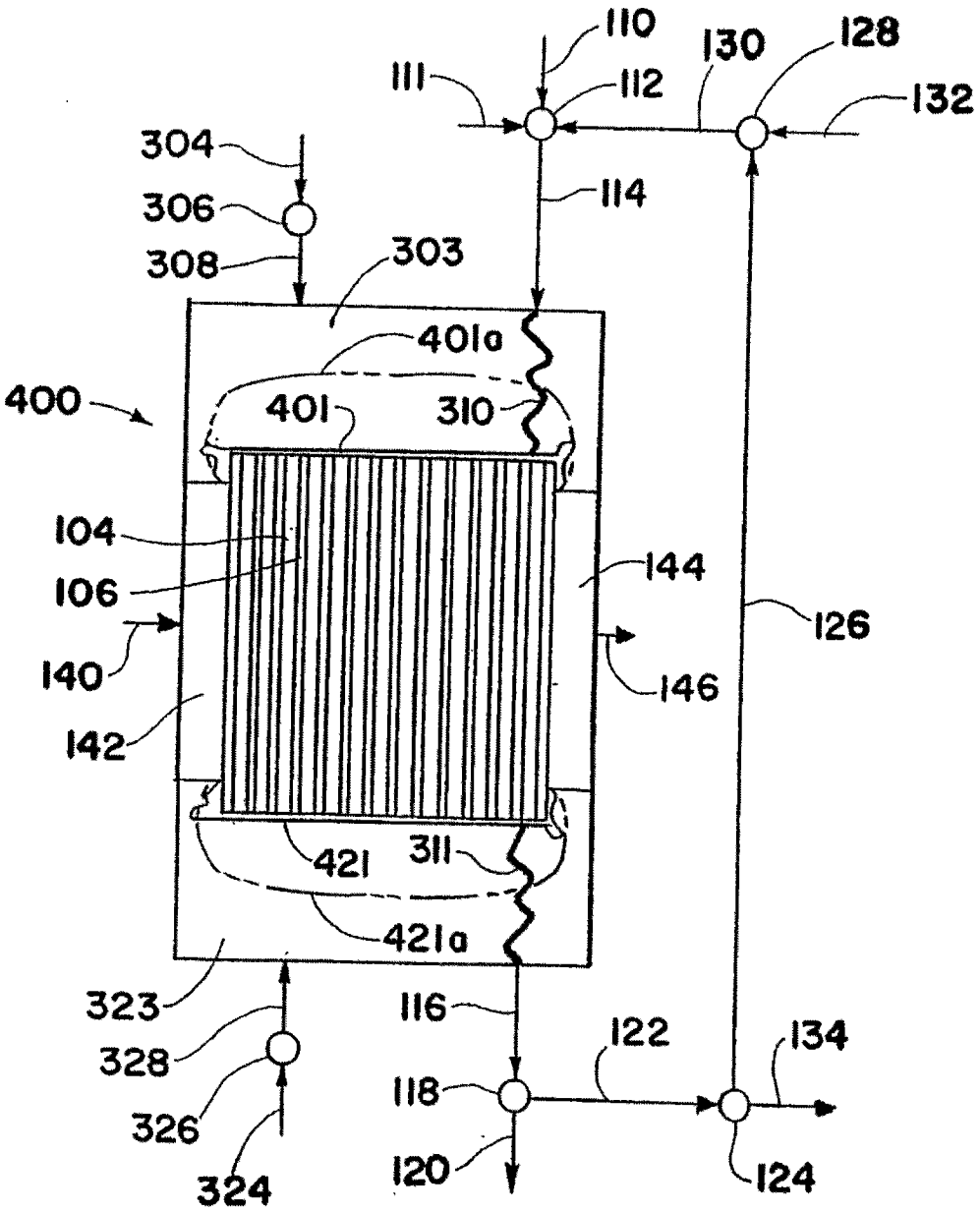

110
111
112
130
128
132
304
306
308
303
114
401a
400
401
310
104
106
140
142
144
146
126
421
311
421a
323
328
326
324
116
118
120
122
134
124

图 4

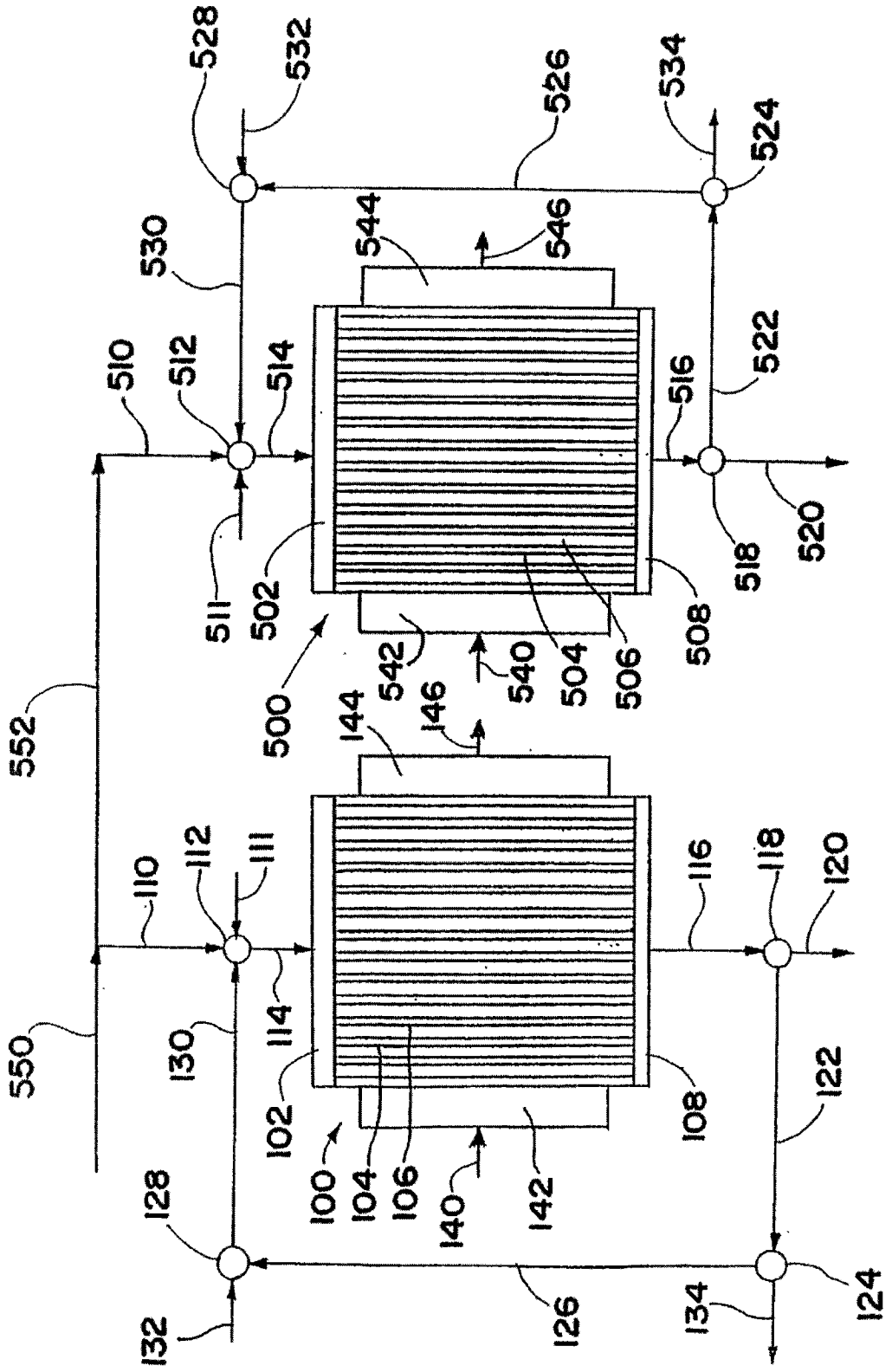

528
532
526
534
524
530
544
546
510
512
514
516
522
511
502
518
520
508
542
540
504
506
500
552
144
146
110
112
111
116
118
120
114
130
550
102
108
122
100
104
106
140
142
128
132
126
134
124

图 5

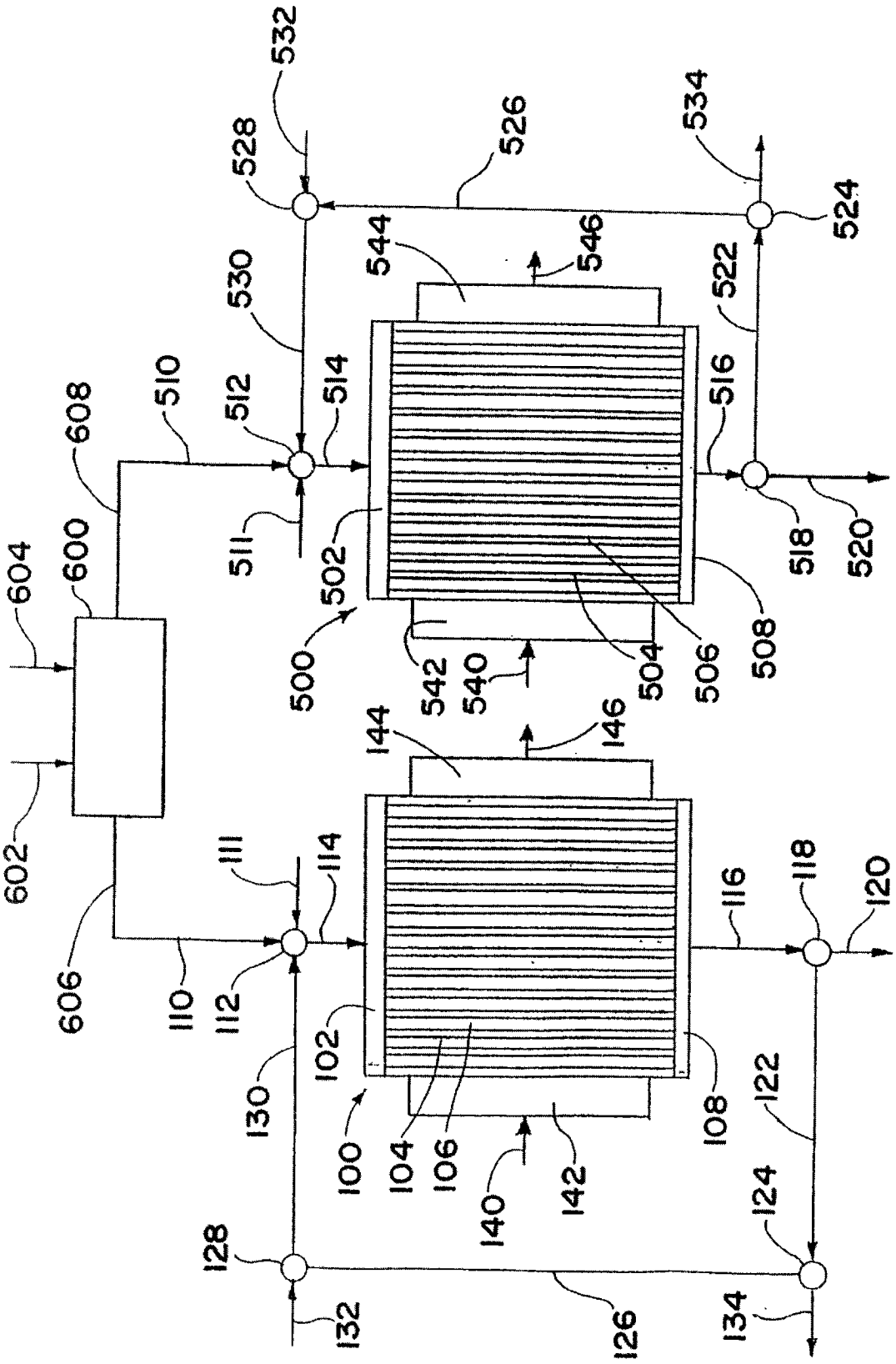

532
528
526
534
524
544
546
530
522
510
512
514
516
608
511
502
518
520
604
600
500
542
540
504
506
508
144
146
602
111
114
116
118
120
606
110
112
102
130
100
104
106
108
122
140
142
124
128
132
126
134

图 6

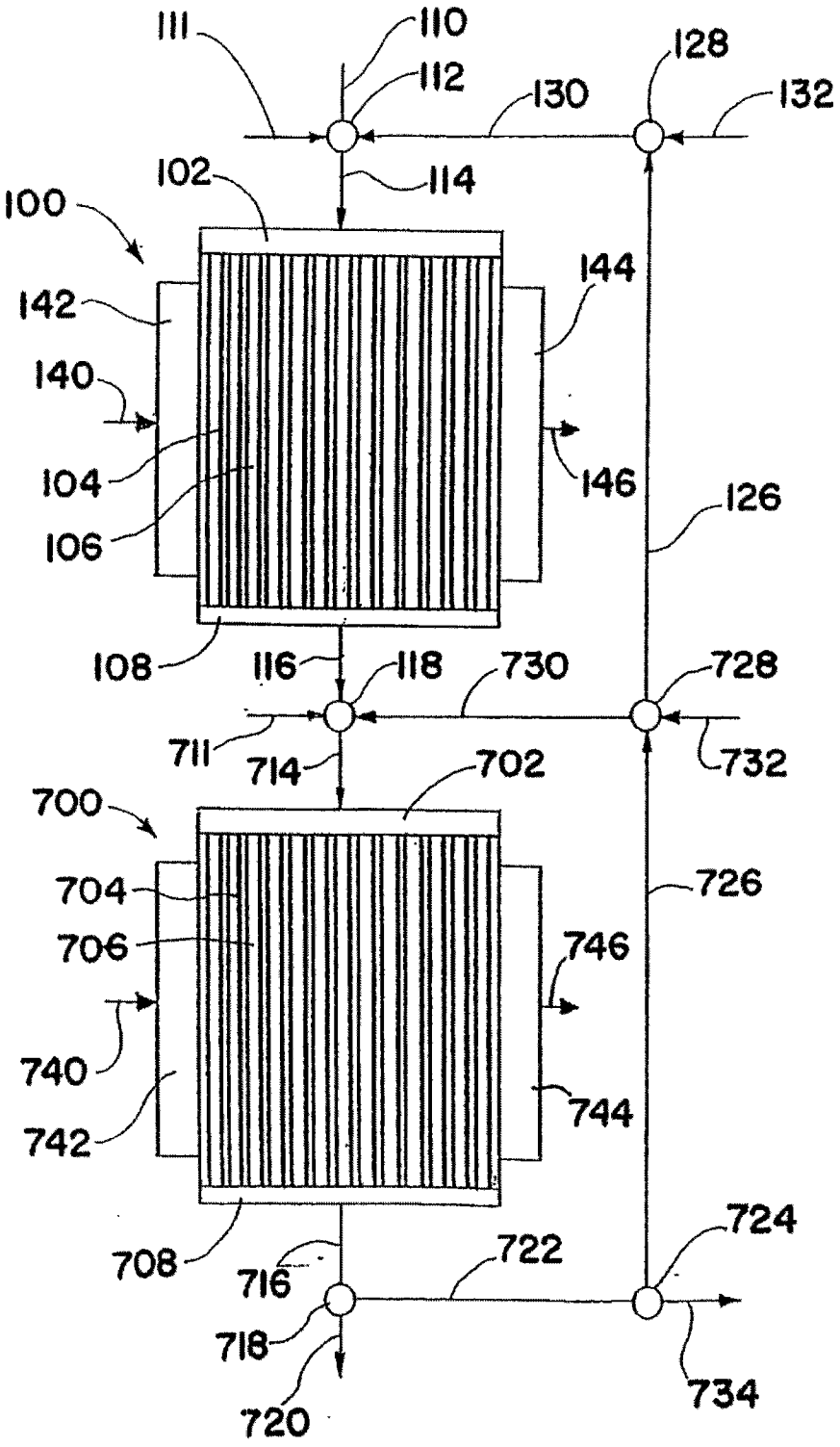

111
110
112
128
130
132
102
114
100
144
142
140
104
106
146
126
108
116
118
730
728
711
714
732
702
700
704
706
726
746
740
742
744
708
716
722
724
718
720
734

图 7

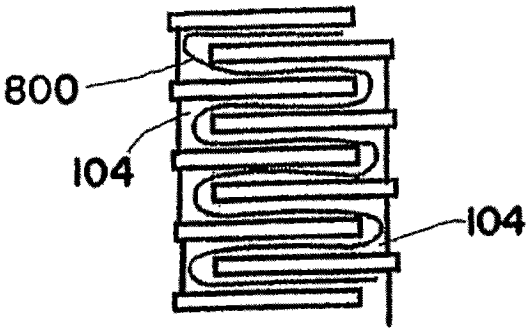

800
104
104

图 8

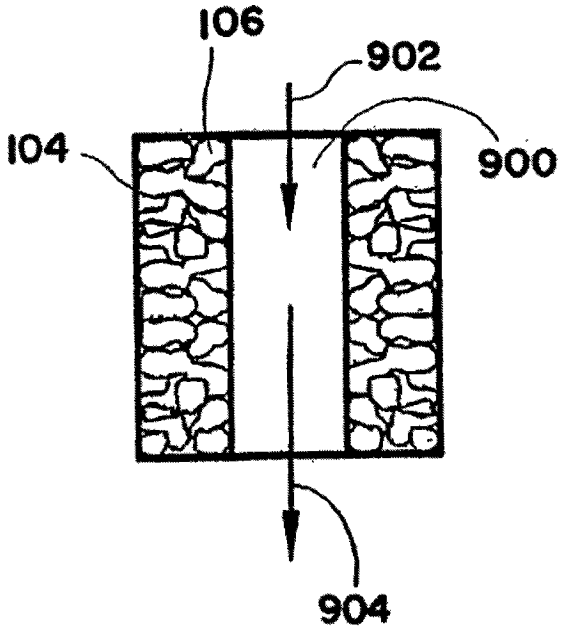

106
902
104
900
904

图 9

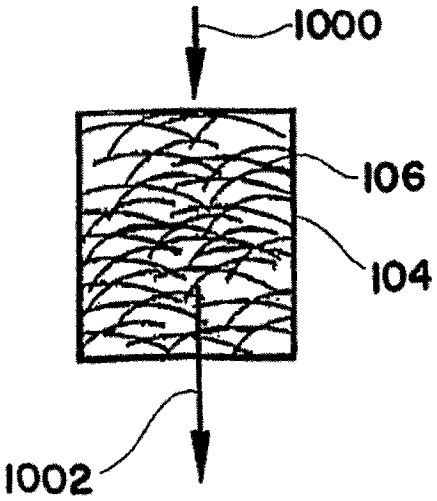

1000
106
104
1002

图 10

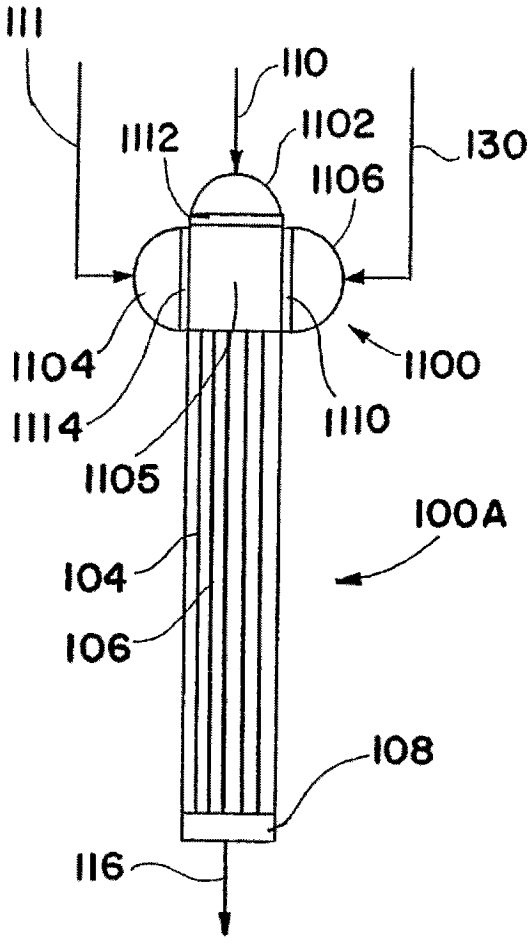

111
110
1112
1102
130
1106
1104
1100
1114
1110
1105
100A
104
106
108
116

图 11

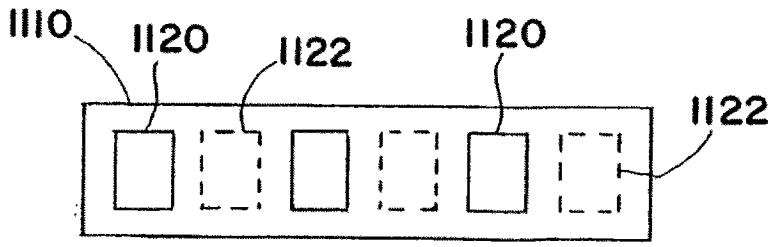


图 12

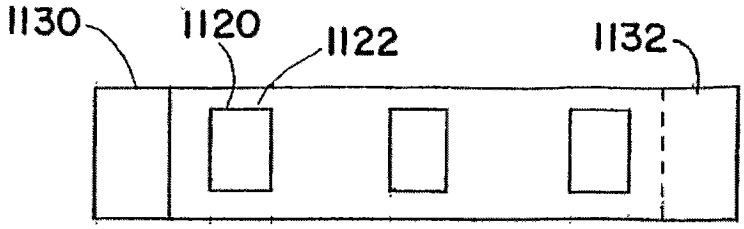


图 13

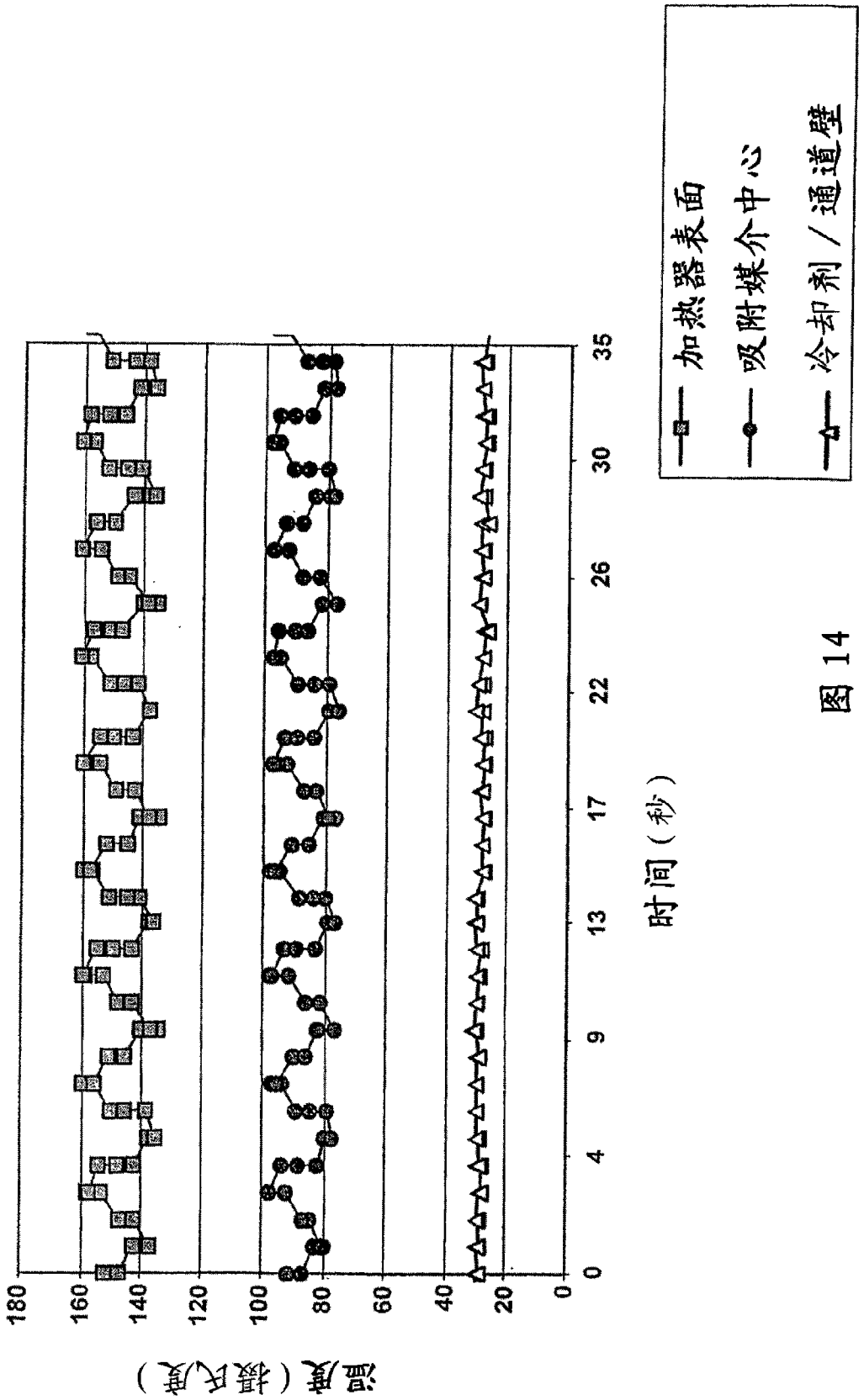

加热器表面
吸附媒介中心
冷却剂／通道壁
温度（摄氏度）
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
0
4
9
13
17
22
26
30
35
时间（秒）

图 14

O_2的 TSA 固体吸收剂的 $P_{O2}^{1/2}$与温度的曲线

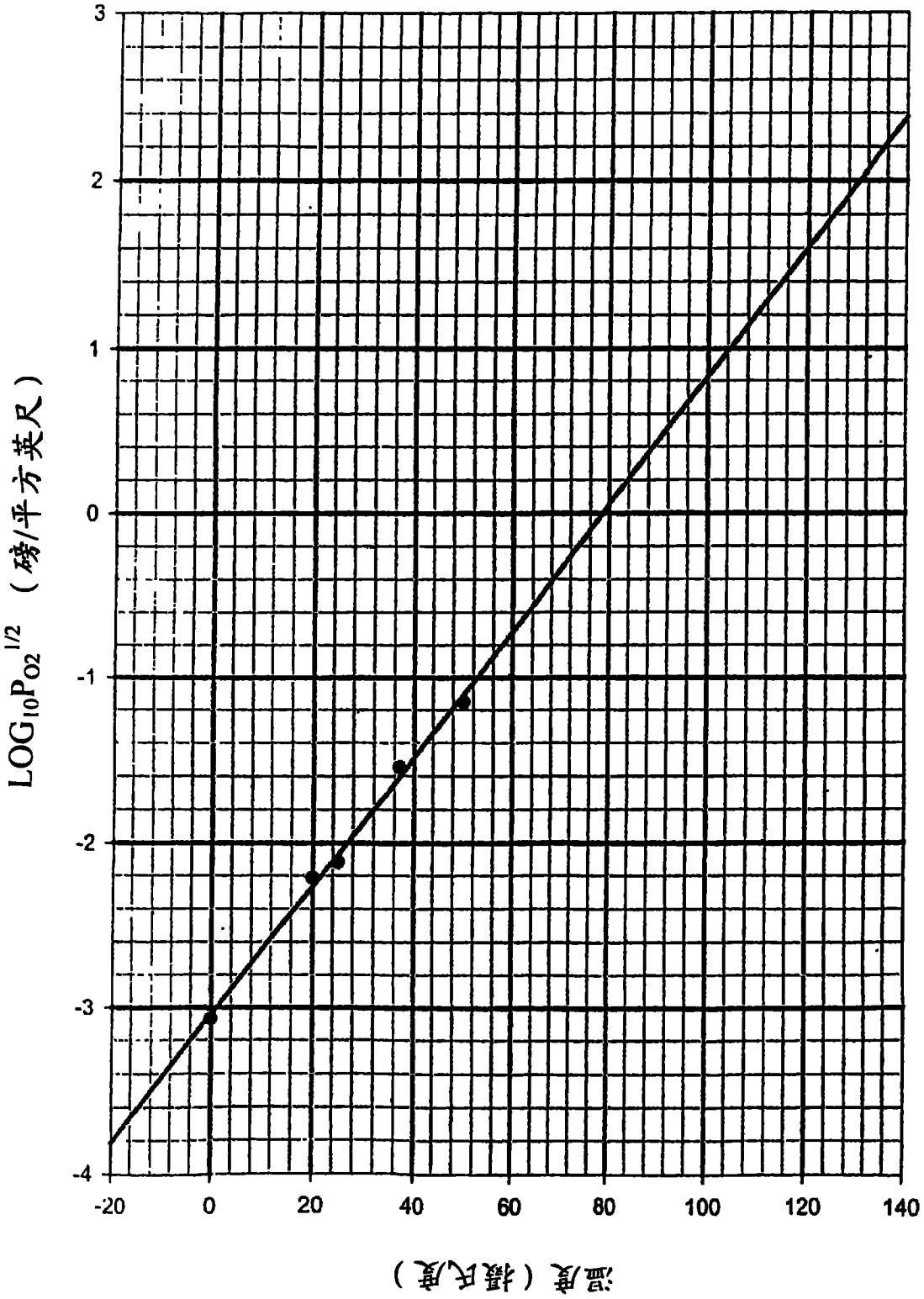


图 15

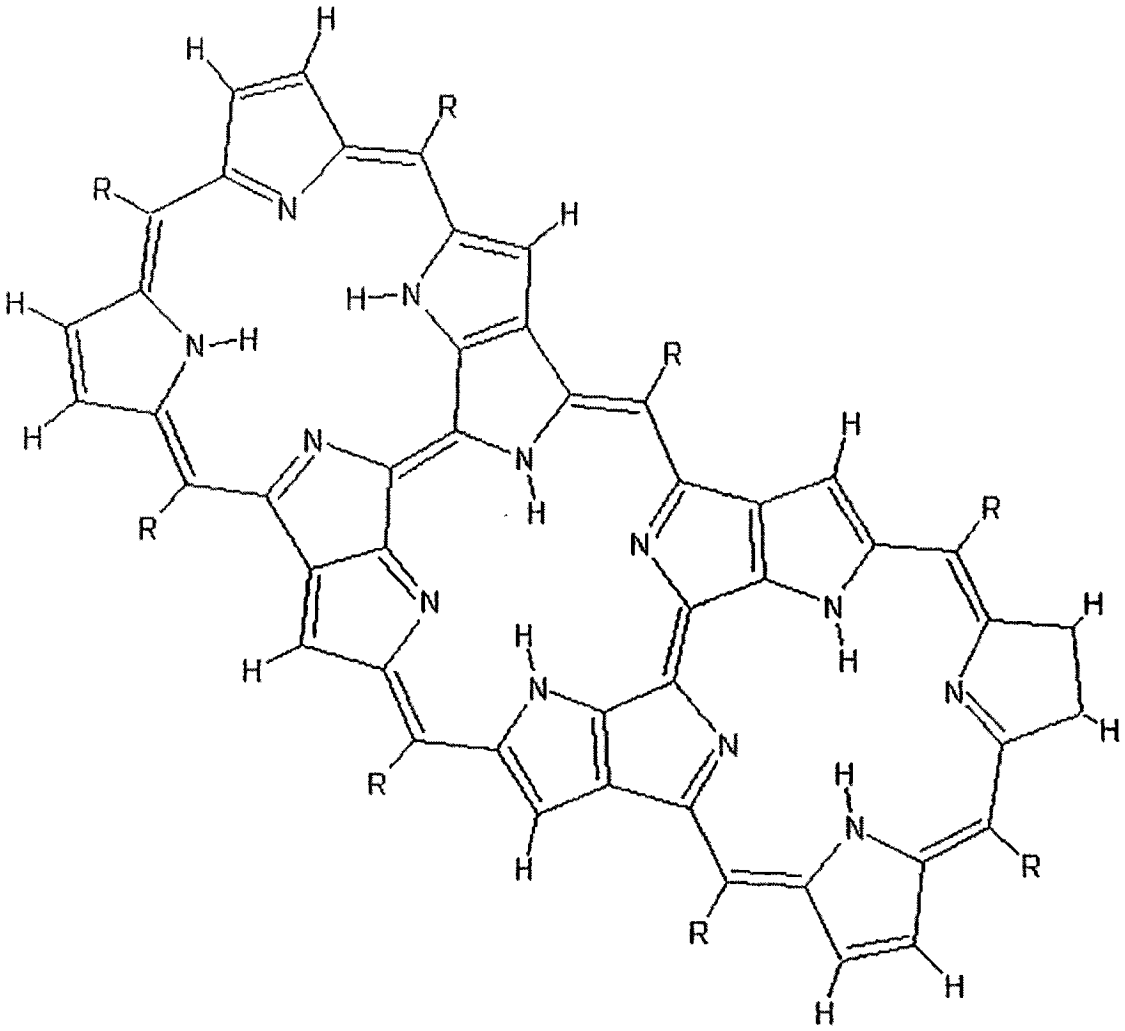


图 16