



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103180028 B

(45) 授权公告日 2016. 07. 06

(21) 申请号 201180041478. 3

(22) 申请日 2011. 08. 26

(30) 优先权数据

61/377, 875 2010. 08. 27 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2013. 02. 27

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/CA2011/050521 2011. 08. 26

(87) PCT国际申请的公布数据

W02012/024804 EN 2012. 03. 01

(73) 专利权人 英温提斯热力技术有限公司

地址 加拿大不列颠省本拿比市

(72) 发明人 安德尔·布莱特 索海尔·海亚夫

(74) 专利代理机构 北京卓恒知识产权代理事务

所(特殊普通合伙) 11394

代理人 景全斌 唐曙晖

(51) Int. Cl.

B01D 53/62(2006. 01)

B01D 53/02(2006. 01)

B01D 53/52(2006. 01)

B01D 53/56(2006. 01)

C10L 3/06(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 1680000 A, 2005. 10. 12,

US 5667713 A, 1997. 09. 16,

CN 1872388 A, 2006. 12. 06,

JP 昭 62-61614 A, 1987. 03. 18,

US 2005/0092176 A1, 2005. 05. 05,

EP 0684071 A3, 1996. 01. 24,

WO 2004/041414 A1, 2004. 05. 21,

审查员 谭小敏

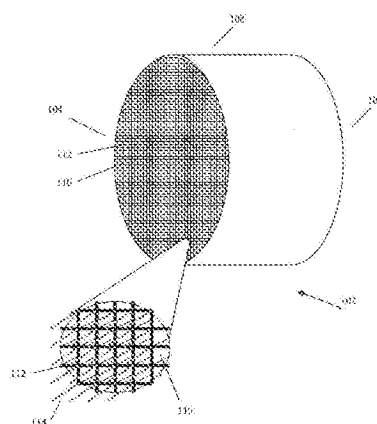
权利要求书7页 说明书19页 附图5页

(54) 发明名称

使用导热接触器结构吸附分离气体的方法

(57) 摘要

一种变温吸附方法,用于在一吸附分离系统中从包括至少第一流体组分的流体混合物中分离所述第一流体组分,吸附分离系统包括一平行通道式吸附剂接触器,所述平行通道式吸附剂接触器包括带多个包括所述吸附材料的室壁的多个平行的流体流动通道和多个轴向导热丝,所述导热丝与所述吸附材料直接接触。所述方法提供源自所述吸附热的热传递,所述热传递在吸附时沿所述丝的至少一部分以逆流方向进行,还提供沿所述丝在任一轴向方向的热传递,以在解吸步骤提供解吸热的至少一部分。一种二氧化碳 TSA 分离方法,用于从烟道气分离二氧化碳,包括在吸附或解吸时沿轴向导热丝传递热的步骤。



1. 一种变温吸附方法,用于分离包括至少第一和第二流体组分的流体混合物,所述方法包括:

允许所述流体混合物进入一吸附分离系统,该吸附分离系统包括至少一平行通道式吸附剂接触器,所述平行通道式吸附剂接触器包括:

多个平行的流体流动通道,所述多个流体流动通道在入口端和出口端之间朝向一第一轴向方向;

位于多个所述流体流动通道之间的多个室壁,所述室壁包括至少一吸附材料;和

多个轴向连续的导热丝,所述多个导热丝朝向所述轴向方向并与所述至少一吸附材料直接接触;

允许流体混合物进入所述平行通道式吸附剂接触器的所述入口端,以沿所述第一轴向方向流向所述出口端;

在所述至少一吸附材料吸附所述第一流体组分的至少一部分;

将所述至少一吸附材料上的第一流体组分的吸附热沿所述导热丝的至少一部分传递,所述传递以一第二轴向方向朝向所述入口端并且与所述吸附步骤中的所述第一轴向方向相反;

从所述出口端回收相对于所述流体混合物消耗了所述第一流体组分中第一产品流体;

通过加热所述至少一吸附材料来解吸吸附在所述至少一吸附材料上的所述第一流体组分的至少一部分;

沿所述导热丝的至少一部分以所述第一或第二轴向方向传递热量的步骤,以提供所述解吸步骤中所述第一流体组分的解吸热的至少一部分;以及

从所述入口端和出口端中至少一个回收富集所述第一流体组分的、解吸的第二产品流体。

2. 根据权利要求1的变温吸附方法,其特征在于,还包括:

在回收所述第一产品流体之前允许预再生的流体进入所述平行通道式吸附剂接触器,和通过加热所述至少一吸附材料至一预再生温度来解吸所述至少一吸附材料上共同吸附的所述第二流体组分的至少一部分。

3. 根据权利要求1的变温吸附方法,其特征在于,所述至少一吸附材料具有对所述第一流体组分的动力学选择性并具有对于所述第一流体组分的第一传质速率,所述第一传质速率大于对于所述第二流体组分的第二传质速率。

4. 根据权利要求3的变温吸附方法,其特征在于,允许所述流体混合物进入包括允许所述流体混合物进入所述平行通道式吸附剂接触器的所述入口端以所述第一轴向方向流向所述出口端,其中允许所述流体混合物进入的空间速度大于所述第二流体组分的所述第二传质速率、小于所述第一流体组分的所述第一传质速率。

5. 根据权利要求1的变温吸附方法,其特征在于,还包括在允许所述流体混合物进入所述平行通道式吸附剂接触器之前将至少一所述吸附材料调节至理想的预吸附温度。

6. 根据权利要求2的变温吸附方法,其特征在于,所述吸附还包括在一第一吸附材料温度在所述至少一吸附材料上吸附所述第一流体的至少一部分,所述解吸还包括通过在一第二吸附材料温度加热所述吸附材料来解吸吸附在所述至少一吸附材料上的所述第一流体的至少一部分。

7. 根据权利要求6的变温吸附方法, 其特征在于, 所述第二吸附材料温度高于所述第一吸附材料温度。

8. 根据权利要求6的变温吸附方法, 其特征在于, 所述预再生温度高于所述第一吸附材料温度、低于所述第二吸附材料温度。

9. 根据权利要求5的变温吸附方法, 其特征在于, 所述预吸附温度低于在所述第一流体组分的所述吸附时的一第一吸附材料温度。

10. 根据权利要求5的变温吸附方法, 其特征在于, 所述预吸附温度高于在所述第一流体组分的所述吸附时的一第一吸附材料温度, 并低于在所述第一流体组分的所述解吸时的一第二吸附材料温度。

11. 根据权利要求1的变温吸附方法, 其特征在于, 所述平行通道式吸附剂接触器包括至少第一和第二吸附材料, 所述解吸包括通过加热所述第一吸附材料来解吸所述第一吸附材料上吸附的所述第一流体组分的至少一部分, 所述第一吸附材料与所述第二吸附材料分开。

12. 根据权利要求1的变温吸附方法, 其特征在于, 所述解吸还包括提供冲洗流体到所述平行通道式吸附剂接触器, 所述回收还包括回收一解吸产品流体, 所述解吸产品流体包括所述第一流体组分和所述冲洗流体。

13. 根据权利要求12的变温吸附方法, 其特征在于, 所述冲洗流体是可冷凝的, 还包括在回收所述解吸产品流体之后将所述冲洗流体冷凝出所述解吸产品流体。

14. 根据权利要求1的变温吸附方法, 其特征在于, 所述解吸还包括在一升高的温度通过提供至少一传热流体到所述平行通道式吸附剂接触器来加热所述至少一吸附材料。

15. 根据权利要求1的变温吸附方法, 其特征在于, 所述解吸还包括通过提供热能到所述导热丝以直接加热包括所述至少一吸附材料的所述室壁来直接加热所述至少一吸附材料。

16. 根据权利要求1的变温吸附方法, 其特征在于, 所述轴向连续的导热丝还包括轴向连续的导电丝, 所述解吸还包括通过电加热所述导热和导电的丝以直接加热包括所述至少一吸附材料的所述室壁来直接加热所述至少一吸附材料。

17. 根据权利要求16的变温吸附方法, 其特征在于, 所述平行通道式吸附剂接触器包括至少第一和第二轴向部分, 所述轴向部分包括第一和第二吸附材料, 所述解吸包括通过电加热所述第一轴向部分上的所述导热和导电的丝来解吸吸附在所述至少一吸附材料上的所述第一流体组分的至少一部分, 所述导热和导电的丝与所述第一吸附材料接触, 所述第一吸附材料与所述第二吸附材料分开。

18. 根据权利要求16的变温吸附方法, 其特征在于, 所述平行通道式吸附剂接触器包括至少第一和第二轴向部分, 所述轴向部分包括第一和第二吸附材料, 所述解吸包括通过电加热所述第一轴向部分上的所述导热和导电的丝来解吸吸附在所述第一吸附材料上的所述第一流体组分的至少一部分, 所述导热和导电的丝与所述第一吸附材料接触, 随后包括通过电加热所述第二轴向部分上的所述导热和导电的丝来依次解吸吸附在所述第二吸附材料上的一流体组分的至少一部分, 所述导热和导电的丝与所述第二吸附材料接触。

19. 根据权利要求18的变温吸附方法, 其特征在于, 所述第一轴向部分位于靠近所述平行通道式接触器的所述出口端, 所述第二轴向部分从所述第一轴向部分朝向所述平行通道

式接触器的所述入口端,所述回收还包括从所述入口和出口端至少一个、依次回收富集在所述第二吸附材料上吸附的一流体组分的一第二解吸产品流体。

20.根据权利要求5的变温吸附方法,其特征在于,所述调节还包括允许至少一传热流体进入所述平行通道式吸附剂接触器,以将至少一所述吸附材料调节为理想的预吸附温度。

21.根据权利要求5的变温吸附方法,其特征在于,所述调节还包括在允许所述流体混合物进入前提供一对所述至少一吸附材料的次级冲洗。

22.根据权利要求1的变温吸附方法,其特征在于,在所述吸附步骤沿所述导热丝的至少一部分的所述传热有效地减少在所述平行通道式吸附剂接触器的热曲线的脉冲,所述脉冲与所述第一流体组分在所述至少一吸附材料上的所述吸附有关。

23.根据权利要求1的变温吸附方法,其特征在于,所述至少一吸附材料选自自由以下材料组成的组:石墨、活性氧化铝、分子筛、磷酸铝、沸石吸附剂、金属替换的硅铝硫酸盐、单极树脂、双极树脂、芳香族交联聚苯乙烯基体、溴化芳香族基体、甲基丙烯酸酯共聚物、碳纤维、纳米材料、高氯酸盐、草酸盐、碱土金属颗粒、CTS、金属氧化物、和有机金属反应物以及它们的组合。

24.根据权利要求1的变温吸附方法,其特征在于,所述至少一吸附材料选自自由以下材料组成的组:碳吸附剂、ETS和金属有机框架(MOF)吸附材料以及它们的组合。

25.根据权利要求1的变温吸附方法,其特征在于,所述至少一吸附材料选自自由以下材料组成的组:亲水沸石、憎水沸石以及它们的组合。

26.根据权利要求1的变温吸附方法,其特征在于,所述至少一吸附材料选自自由以下材料组成的组:离子交换沸石、改性沸石、天然沸石、八面沸石、斜发沸石、发光沸石以及它们的组合。

27.根据权利要求1的变温吸附方法,其特征在于,所述至少一吸附材料为化学吸附剂。

28.根据权利要求1的变温吸附方法,其特征在于,所述至少一吸附材料为金属盐吸附剂。

29.根据权利要求1的变温吸附方法,其特征在于,所述至少一吸附材料为干燥剂。

30.根据权利要求1的变温吸附方法,其特征在于,所述至少一吸附材料选自自由以下材料组成的组:活性碳、碳分子筛、硅铝硫酸盐、石墨吸附剂、碳纳米管和胺类以及它们的组合。

31.根据权利要求1的变温吸附方法,其特征在于,所述允许进入、吸附、回收一第一产品流体、解吸和回收一解吸的第二产品流体的步骤等压并且在大气压和升高的、超过大气压的压力中至少一个进行。

32.根据权利要求1的变温吸附方法,其特征在于,所述允许进入、吸附和回收一第一产品流体在大气压进行,所述解吸和回收一解吸的第二产品流体在一超过大气压的压力进行。

33.一种变温吸附方法,用于从烟道气进料混合物中分离二氧化碳,所述混合物至少包括二氧化碳和氮气组分,该方法包括:

允许所述进料烟道气混合物进入一吸附分离系统,所述吸附分离系统包括至少一平行通道式吸附剂接触器,所述平行通道式吸附剂接触器包括:

多个平行的流体流动通道,所述多个流体流动通道在一入口端和一出口端之间朝向一第一轴向方向;

位于多个所述流体流动通道之间的多个室壁,所述室壁包括至少一二氧化碳吸附材料;和

多个轴向连续的导热丝,所述多个导热丝朝向所述第一轴向方向并与所述至少一二氧化碳吸附材料直接接触;

允许所述烟道气进入所述平行通道式吸附剂接触器的所述入口端的步骤,以沿所述第一轴向方向流向所述出口端;

在所述至少一二氧化碳吸附材料吸附所述二氧化碳组分的至少一部分;

将源自所述至少一二氧化碳吸附材料上的二氧化碳的吸附热的热量沿所述导热丝的至少一部分传递,所述传递以一第二轴向方向朝向所述入口端并且与所述吸附步骤中的所述第一轴向方向相反;

从所述出口端回收相对于所述烟道气进料混合物消耗了二氧化碳的烟道气产品流;

通过加热所述至少一吸附材料来解吸吸附在所述至少一二氧化碳吸附材料上的二氧化碳的至少一部分;

沿所述导热丝的至少一部分以所述第一或第二轴向方向传递热量,以提供所述解吸步骤中所述二氧化碳的解吸热的至少一部分;和

从所述入口端和所述出口端中至少一个回收解吸的富集二氧化碳的解吸二氧化碳产品。

34. 根据权利要求33的变温吸附方法,其特征在于,在回收所述烟道气产品之前允许预再生的流体进入所述平行通道式吸附剂接触器,和通过加热所述至少一二氧化碳吸附材料至一预再生温度来解吸所述至少一吸附材料上共同吸附的所述氮气组分的至少一部分。

35. 根据权利要求33的变温吸附方法,其特征在于,所述至少一二氧化碳吸附材料具有对所述二氧化碳组分的动力学选择性并具有对于所述二氧化碳组分的第一传质速率,所述第一传质速率大于对于所述氮气组分的第二传质速率。

36. 根据权利要求33的变温吸附方法,其特征在于,允许所述烟道气进入包括允许所述烟道气进入所述平行通道式吸附剂接触器的所述入口端以所述第一轴向方向流向所述出口端,其中允许所述流体混合物进入的空间速度大于所述氮气组分的一第二传质速率、小于所述二氧化碳组分的一第一传质速率。

37. 根据权利要求33的变温吸附方法,其特征在于,还包括在允许所述流体混合物进入所述平行通道式吸附剂接触器之前将至少一所述吸附材料调节至理想的预吸附温度。

38. 根据权利要求33的变温吸附方法,其特征在于,所述吸附还包括在一第一吸附材料温度在所述至少一吸附材料上吸附所述二氧化碳的至少一部分,所述解吸还包括通过在一第二吸附材料温度加热所述吸附材料来解吸吸附在所述至少一吸附材料上的所述二氧化碳的至少一部分。

39. 根据权利要求34的变温吸附方法,其特征在于,所述预再生温度高于一第一吸附材料温度、低于一第二吸附材料温度。

40. 根据权利要求37的变温吸附方法,其特征在于,所述预吸附温度低于下列温度中至少一个:在所述二氧化碳吸附时的一第一吸附材料温度和在所述二氧化碳的所述解吸时的

一第二吸附材料温度。

41. 根据权利要求33的变温吸附方法,其特征在于,所述平行通道式吸附剂接触器包括至少一第一二氧化碳吸附材料和一第二吸附材料,所述解吸包括通过加热所述第一二氧化碳吸附材料来解吸在所述第一二氧化碳吸附材料上吸附的所述二氧化碳组分的至少一部分,所述第一二氧化碳吸附材料与所述第二吸附材料分开。

42. 根据权利要求33的变温吸附方法,其特征在于,所述解吸还包括提供一冲洗气体到所述平行通道式吸附剂接触器,所述回收还包括回收包括所述二氧化碳和所述冲洗气体的一富集二氧化碳的产品流体。

43. 根据权利要求42的变温吸附方法,其特征在于,所述冲洗气体是可冷凝的,还包括在回收所述解吸的产品流体之后将所述冲洗气体冷凝出所述解吸的产品流体。

44. 根据权利要求42的变温吸附方法,其特征在于,所述冲洗气体包括下列至少一个:空气、蒸汽和消耗了二氧化碳的烟道气产品流。

45. 根据权利要求33的变温吸附方法,其特征在于,所述解吸还包括在一升高的温度通过提供至少一传热流体到所述平行通道式吸附剂接触器来加热所述至少一吸附材料并将所述二氧化碳解吸到所述传热流体。

46. 根据权利要求45的变温吸附方法,其特征在于,所述传热流体包括下列至少一个:空气、蒸汽、富集二氧化碳的产品气体和消耗了二氧化碳的烟道气产品流。

47. 根据权利要求33的变温吸附方法,其特征在于,所述解吸还包括通过提供热能到所述导热丝以直接加热包括所述至少一吸附材料的所述室壁来直接加热所述至少一二氧化碳吸附材料。

48. 根据权利要求33的变温吸附方法,其特征在于,所述轴向连续的导热丝还包括轴向连续的导电丝,所述解吸还包括通过电加热所述导热和导电的丝以直接加热包括所述至少一吸附材料的所述室壁来直接加热所述至少一二氧化碳吸附材料。

49. 根据权利要求48的变温吸附方法,其特征在于,所述平行通道式吸附剂接触器包括至少第一和第二轴向部分,所述轴向部分分别包括一第一二氧化碳吸附材料和一第二吸附材料,所述解吸包括通过电加热所述第一轴向部分上的所述导热和导电的丝来解吸吸附在所述至少一吸附材料上的所述二氧化碳的至少一部分,所述导热和导电的丝与所述第一二氧化碳吸附材料接触,所述第一二氧化碳吸附材料与所述第二吸附材料分开。

50. 根据权利要求48的变温吸附方法,其特征在于,所述平行通道式吸附剂接触器包括至少第一和第二轴向部分,所述轴向部分分别包括一第一二氧化碳吸附材料和一第二吸附材料,所述解吸包括通过电加热所述第一轴向部分上的所述导热和导电的丝来解吸吸附在所述第一二氧化碳吸附材料上的所述二氧化碳的至少一部分,所述导热和导电的丝与所述第一二氧化碳吸附材料接触,随后包括通过电加热所述第二轴向部分上的所述导热和导电的丝来依次解吸吸附在所述第二吸附材料上的一烟道气流体组分的至少一部分,所述导热和导电的丝与所述第二吸附材料接触。

51. 根据权利要求50的变温吸附方法,其特征在于,所述第一轴向部分位于靠近所述平行通道式接触器的所述出口端,所述第二轴向部分从所述第一轴向部分朝向所述平行通道式接触器的所述入口端,所述回收还包括从所述入口和出口端至少一个、依次回收富集从所述第二吸附材料上解吸的一烟道气组分的一第二解吸产品流体。

52. 根据权利要求37的变温吸附方法,其特征在于,所述调节还包括允许至少一传热流体进入所述平行通道式吸附剂接触器,以将至少一所述吸附材料调节为理想的预吸附温度。

53. 根据权利要求37的变温吸附方法,其特征在于,所述调节还包括在允许所述烟道气进料混合物进入前提供一对所述至少一二氧化碳吸附材料的次级冲洗。

54. 根据权利要求33的变温吸附方法,其特征在于,在所述吸附步骤沿所述导热丝的至少一部分的所述传热有效地减少在所述平行通道式吸附剂接触器的热曲线的脉冲,所述脉冲与所述二氧化碳在所述至少一二氧化碳吸附材料上的所述吸附有关。

55. 根据权利要求33的变温吸附方法,其特征在于,所述至少一二氧化碳吸附材料选自以下材料组成的组:活性炭吸附剂、碳分子筛、胺类浸渍的吸附剂支撑体、金属盐、金属氢氧化物、金属氧化物、沸石、水滑石、硅沸石、有机金属框架和沸石咪唑框架吸附材料以及它们的组合,所述胺类浸渍的吸附剂支撑体包括硅土、活性炭、氧化铝、沸石、聚合物和陶瓷支撑体。

56. 根据权利要求33的变温吸附方法,其特征在于,所述允许进入、吸附、回收一烟道气产品流体、解吸和回收一解吸的二氧化碳产品的步骤等压并且在大气压和升高的、超过大气压的压力中至少一个进行。

57. 根据权利要求33的变温吸附方法,其特征在于,所述允许进入、吸附和回收一烟道气产品流体在大气压进行,所述解吸和回收一解吸二氧化碳的产品流体在一超过大气压的压力进行。

58. 根据权利要求33的变温吸附方法,其特征在于,在所述吸附步骤沿所述导热丝的至少一部分的所述传热有效地在所述吸附步骤末期将源自所述吸附步骤的热波前缘保留在所述平行通道式吸附剂接触器内。

59. 根据权利要求33的变温吸附方法,其特征在于,所述平行通道式吸附剂接触器包括至少第一和第二轴向部分,所述轴向部分包括一第一吸附材料和一第二吸附材料,所述第一吸附材料相对氮气选择性吸附二氧化碳,所述第二吸附材料相对二氧化碳选择性吸附水分、氮氧化物、氧化硫和重金属中至少一个,所述第二轴向部分位于靠近所述接触器的所述入口端处的所述第一轴向部分的上游。

60. 根据权利要求59的变温吸附方法,其特征在于,所述平行通道式吸附剂接触器还包括至少一第三轴向部分,所述第三轴向部分包括一相对二氧化碳选择性吸附水分、氮氧化物、氧化硫和重金属中至少一个的第三吸附材料,所述第三轴向部分位于所述第一轴向部分的上游、所述第二轴向部分的下游。

61. 一种变温吸附方法,用于从天然气进料混合物中分离二氧化碳和硫化氢中至少一个,所述混合物至少包括二氧化碳、硫化氢和甲烷中至少一个,该方法包括:

允许所述天然气进料混合物进入一吸附分离系统,所述吸附分离系统包括至少一平行通道式吸附剂接触器,所述平行通道式吸附剂接触器包括:

多个平行的流体流动通道,所述多个流体流动通道在一入口端和一出口端之间朝向一第一轴向方向;

位于多个所述流体流动通道之间的多个室壁,所述室壁包括至少一相对甲烷选择性吸附二氧化碳和硫化氢中的至少一个的吸附材料;和

多个轴向连续的导热丝,所述多个导热丝朝向所述轴向方向并与所述至少一吸附材料直接接触;

允许所述天然气进料混合物进入所述平行通道式吸附剂接触器的所述入口端,以沿所述第一轴向方向流向所述出口端;

在所述至少一吸附材料吸附二氧化碳和硫化氢组分中至少一个的至少一部分;

将源自所述至少一吸附材料上的吸附热的热量沿所述导热丝的至少一部分传递,所述传递以一第二轴向方向朝向所述入口端并且与所述吸附步骤中的所述第一轴向方向相反;

从所述出口端回收相对于所述天然气进料混合物消耗了二氧化碳和硫化氢中至少一个的天然气产品流;

通过加热所述至少一吸附材料来解吸吸附在所述至少一吸附材料上的所述二氧化碳和硫化氢中的至少一个的至少一部分;

沿所述导热丝的至少一部分以所述第一或第二轴向方向传递热量,以提供所述解吸步骤中所述二氧化碳或硫化氢的解吸热的至少一部分;和

从所述入口端和所述出口端中至少一个回收解吸的富集二氧化碳和硫化氢中至少一个的解吸产品。

62. 根据权利要求61的变温吸附方法,其特征在于,所述允许进入、吸附、回收一天然气产品流体、解吸和回收一解吸产品流体的步骤等压并且在升高的、超过大气压的压力下进行。

使用导热接触器结构吸附分离气体的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及吸附式分离气体的方法和系统。具体来说,本发明涉及使用变温吸附方法在导热的、平行通道式流体接触器结构吸附分离气体的方法,以及并入导热的平行通道式流体接触器结构的系统。

背景技术

[0002] 现有技术中,变温吸附方法用于多组分流体混合物尤其是气体混合物的吸附分离。许多传统的变温吸附方法用于在吸附材料上优先吸附进料气体混合物中一个组分,以将其从其余进料气体混合物组分中分离,随后再生所述吸附材料,以解吸所吸附的组分并允许所述吸附材料的循环利用。但是,传统的变温吸附方法通常效率较低,部分原因是吸附分离系统中所用的吸附材料的解吸或再生时热和/或质量迁移现象的限制,也因为变温吸附过程中吸附阶段的限制。

[0003] 通常的传统温度吸附过程的一个缺点是进料气体组分在吸附材料的低效吸附,这可能由于在移动经过吸附材料时随着气体组分吸附所释放的吸附热所导致的吸附前缘温度的快速增加。在许多传统变温吸附方法中,这种在吸附时吸附材料的温度增加可能导致与吸附材料中的“热点”关联的下降的吸附能力和变温吸附过程效率的相应下降。传统的变温吸附过程的另一个缺点是吸附材料的不充分的解吸或再生,这可能由于为了满足在解吸或再生时吸附的混合物解吸所需的热量而均匀加热吸附材料的难度。这种加热吸附材料的不均匀性通常可能导致与吸附材料中“冷点”关联的气体组分的滞留吸附,或者要求用不必要的大的热通量来充分解吸气体组分,这导致不理想的高的加热成本和使得吸附材料在解吸后不必要地过度加热。

[0004] 而且,传统的变温吸附方法通常使用接触器结构诸如吸附床,以将气体组分与吸附材料相接触。示例性公知的吸附接触器包括用于吸附式气体分离过程的装填珠或平行板吸附结构,所述吸附式气体分离过程例如是变温和/或变压吸附过程。但是,现有技术的一些吸附式接触器有下列缺点:接触器结构的差的流体动力学、质量迁移和热性能。在这些情形,差的热性能会不理想地导致高的热质量和/或低于理想的热导率,高的热质量可能需要不理想的、大的热量流量来实现所述结构内的给定的温度变化,低于理想的热导率可能导致例如在所述结构内不理想的、大的温差。现有技术的一些吸附式接触器的这种不理想的热性能可能造成如上所述的传统的变温吸附方法的一些缺点。除了热迁移缺点,一些传统的变温吸附结构的差的流体力学性能可能因为流体化受限而不理想地限制流体吞吐量,例如在装填珠吸附床的情形。另外,在一些传统系统中,不理想的低质量传递速率会限制允许的循环速度,并会通过将系统的吸附选择性限制为吸附剂固有的平衡选择性来降低循环的吸附-解吸过程的动态选择性,其对分离给定流体混合物可能偏低。

发明内容

[0005] 本发明的一个目的在于提供克服现有技术一些缺点的变温吸附方法。

[0006] 本发明的另一个目的在于提供使用克服现有技术一些缺点的、利用平行通道式吸附剂接触器结构的变温吸附方法,用于分离流体混合物中的第一和第二流体组分。

[0007] 本发明的又一个目的在于提供克服现有技术一些缺点的变温吸附气体分离方法,用于根据本发明从烟道气进料混合物中分离二氧化碳。

[0008] 在本发明的一个实施例中,提供一种变温吸附方法,用于分离包括至少第一和第二流体组分的流体混合物。该方法包括先允许所述流体混合物进入一吸附分离系统的步骤,该吸附分离系统包括至少一平行通道式吸附剂接触器,所述平行通道式吸附剂接触器包括多个基本上平行的流体流动通道、位于多个所述流体流动通道之间的多个室壁和多个轴向连续的导热丝,所述多个流体流动通道在入口端和出口端之间朝向一第一轴向方向,所述室壁包括至少一吸附材料,所述多个导热丝朝向所述轴向方向并与所述至少一吸附材料直接接触。随后,该方法包括允许所述流体混合物进入所述平行通道式吸附剂接触器的所述入口端的步骤,以以所述第一轴向方向流向所述出口端,在所述至少一吸附材料吸附所述第一流体组分的至少一部分的步骤,以及将所述至少一吸附材料上的第一流体组分的吸附热沿所述导热丝的至少一部分传递的步骤,所述传递以一第二轴向方向朝向所述入口端并且与所述吸附步骤中的所述第一轴向方向相反。随后,该方法包括从所述出口端回收相对于所述流体混合物进料消耗了所述第一流体组分的第一产品流体的步骤。随后,该方法包括通过加热所述至少一吸附材料来解吸吸附在所述至少一吸附材料上的所述第一流体组分的至少一部分的步骤,以及沿所述导热丝的至少一部分以所述第一或第二轴向方向传递热量的步骤,以提供所述解吸步骤中所述第一流体组分的解吸热的至少一部分。最后,该方法包括从所述入口端和出口端中至少一个回收富集所述第一流体组分的、解吸的第二产品流体的步骤。

[0009] 在本发明的一个替代实施例中,所述变温吸附方法还包括在回收所述第一产品流体之前允许一预再生流体进入所述平行通道式吸附剂接触器的步骤和通过加热所述至少一吸附材料来解吸所述至少一吸附材料上共同吸附的所述第二流体组分的至少一部分的步骤。

[0010] 在本发明的又一个实施例中,所述至少一吸附材料具有对所述第一流体组分的流体动力学选择性并具有对于所述第一流体组分的第一传质速率,其大于对于所述第二流体组分的第二传质速率。在一个可选的这样的实施例中,所述变温吸附包括允许所述流体混合物进入所述平行通道式吸附剂接触器的空间速度大于所述第二流体组分的所述第二传质速率、小于所述第一流体组分的所述第一传质速率。

[0011] 在本发明的又一个实施例中,提供一种变温吸附方法,用于从烟道气进料混合物中分离二氧化碳,所述混合物至少包括二氧化碳和氮气组分。该方法首先包括允许所述烟道气进料混合物进入一吸附分离系统,所述吸附分离系统包括至少一平行通道式吸附剂接触器,所述平行通道式吸附剂接触器包括多个基本上平行的流体流动通道、位于多个所述流体流动通道之间的多个室壁和多个轴向连续的导热丝,所述多个流体流动通道在入口端和出口端之间朝向一第一轴向方向,所述室壁包括至少一吸附材料,所述多个导热丝朝向所述轴向方向并与所述至少一吸附材料直接接触。随后,该方法包括允许烟道气进入所述平行通道式吸附剂接触器的所述入口端的步骤,以以所述第一轴向方向流向所述出口端,以及在所述至少一二氧化碳吸附材料吸附二氧化碳组分的至少一部分的步骤。随后,该方

法包括将所述至少一二氧化碳吸附材料上的二氧化碳组分的吸附热沿所述导热丝的至少一部分传递的步骤,所述传递以一第二轴向方向朝向所述入口端并且与所述吸附步骤中的所述第一轴向方向相反,以及从所述出口端回收相对于所述烟道气进料混合物消耗了二氧化碳的烟道气产品流的步骤。随后,该方法包括通过加热所述至少一吸附材料来解吸吸附在所述至少一二氧化碳吸附材料上的二氧化碳的至少一部分的步骤,以及沿所述导热丝的至少一部分以所述第一或第二轴向方向传递热量的步骤,以提供所述解吸步骤中二氧化碳的解吸热的至少一部分。最后,该方法包括从所述入口端和所述出口端中至少一个回收富集二氧化碳的、解吸的二氧化碳产品的步骤。

[0012] 在本发明的又一个实施例中,提供一种变温吸附方法和膜组件,用于从天然气进料混合物中分离二氧化碳和硫化氢中至少一个,所述天然气进料混合物包括二氧化碳和硫化氢中至少一个。该方法包括先允许所述天然气进料混合物进入一吸附分离系统的步骤,该吸附分离系统包括至少一平行通道式吸附剂接触器,所述平行通道式吸附剂接触器包括多个基本上平行的流体流动通道、位于所述多个流体流动通道之间的多个室壁和多个轴向连续的导热丝,所述多个流体流动通道在入口端和出口端之间朝向一第一轴向方向,所述室壁包括至少一对于二氧化碳和硫化氢中至少一个具有选择性的吸附材料,所述多个导热丝朝向所述轴向方向并与所述至少一吸附材料直接接触。随后,该方法包括允许所述天然气进料混合物进入所述平行通道式吸附剂接触器的所述入口端的步骤,以以所述第一轴向方向流向所述出口端,在所述至少一吸附材料吸附二氧化碳和硫化氢中的至少一个的至少一部分的步骤,以及将所述至少一吸附材料上的吸附热沿所述导热丝的至少一部分传递的步骤,所述传递以一第二轴向方向朝向所述入口端并且与所述吸附步骤中的所述第一轴向方向相反。随后,该方法包括从所述出口端回收相对于天然气进料混合物消耗了二氧化碳和硫化氢中至少一个的天然气产品流的步骤。随后,该方法包括通过加热所述至少一吸附材料来解吸吸附在所述至少一吸附材料上的二氧化碳和硫化氢中至少一个的至少一部分的步骤,沿所述导热丝的至少一部分以所述第一或第二轴向方向传递热量的步骤,以提供所述解吸步骤中二氧化碳或硫化氢的解吸热的至少一部分,以及从所述入口端和出口端中至少一个回收富集二氧化碳和硫化氢中至少一个的、解吸的产品的步骤。

[0013] 参考附图并结合详细描述,本发明的进一步的优点会更容易理解。

附图说明

[0014] 现在参考附图描述本发明的吸附式气体分离方法,附图中:

[0015] 图1示出了用于根据本发明的一个实施例的平行通道式吸附剂接触器结构的剖视图和相应的嵌入的立体图;

[0016] 图2示出了用于根据本发明的一个实施例的、图1所示的平行通道式吸附剂接触器结构的详细剖视图;

[0017] 图3示出了根据本发明的一个实施例的、在吸附步骤开始阶段平行通道式吸附剂接触器的轴向热曲线图;

[0018] 图4示出了根据本发明的一个实施例的、在吸附步骤平行通道式吸附剂接触器的轴向热曲线图;

[0019] 图5示出了根据本发明的一个实施例的、在吸附步骤结束阶段平行通道式吸附剂

接触器的轴向热曲线图；

[0020] 图6示出了根据本发明的一个实施例的、在解吸或再生步骤结束阶段平行通道式吸附剂接触器的轴向热曲线图。

[0021] 在不同附图中类似的附图标记代表相应的部件。

具体实施方式

[0022] 在本发明的一个实施例中，提供一种变温吸附方法(简称“TSA方法”)，用于分离包括至少第一和第二流体组分的流体混合物。在这样的一个实施例中，所述TSA方法可以包括允许流体混合物或者进料混合物进入一吸附分离系统的初始化步骤，所述吸附分离系统包括至少一平行通道式吸附剂接触器。尤其是，适当的平行通道式吸附剂接触器可以包括多个基本上平行的流体流动通道和位于所述多个流体流动通道之间的多个室壁，所述多个流体流动通道在所述接触器的入口端和出口端之间朝向一第一轴向方向，所述室壁包括至少一吸附材料，所述至少一吸附材料位于所述多个流体流动通道之间并分开所述多个流体流动通道。所述平行通道式吸附剂接触器还可以理想地包括多个轴向连续的导热丝，所述多个导热丝朝向所述接触器的所述轴向方向并与所述至少一吸附材料直接接触，所述至少一吸附材料包括在所述接触器的所述室壁之内或之上。随后，所述流体混合物被允许进入所述平行通道式吸附剂接触器的所述入口端，以以所述第一轴向方向流经所述接触器并流向所述出口端，所述至少一吸附材料吸附所述第一流体组分的至少一部分，相对于所述流体混合物中的其他组分所述至少一吸附材料优选选择性吸附所述第一组分。在本发明一个替代实施例中，所述平行通道式吸附剂接触器可以包括至少一轴向导热材料，使得所述接触器优选在所述轴向导热，并且在所述轴向上有均匀导热性或者具有在一个或多个轴向区域的轴向热导率相对所述接触器结构的其他区域较高。

[0023] 在本发明的一个优选实施例中，包括在所述平行通道式吸附剂接触器内的所述至少一吸附材料可以理想地动态选择性地相对至少其他流体组分吸附第一流体组分，使得动态选择性足够高，可以通过选择性吸附第一流体组分来用于提供所述流体混合物的吸附分离。在所述TSA分离方法整个周期的这种动态选择性可以包括所述至少一吸附材料对于所述第一流体组分的平衡选择性和所述至少一吸附材料对于所述第一流体组分的动力学选择性中至少一个。在一个这样的优选实施例中，可以允许进料混合物以这样的空间速度($V_{\text{gas}}/V_{\text{ads}}/t$)进入所述吸附剂接触器，该空间速度小于要选择性吸附的所述第一流体组分的传质速率($1/s$)，但是大于至少一第二流体组分的传质速率($1/s$)，所述至少一第二流体可以理想地稀薄以基本上不被吸附，使得所述吸附步骤可以包括根据在所述吸附步骤、所述吸附温度下所述流体组分在所述吸附材料上的传质速率的至少一动力学选择性。

[0024] 在所述优选实施例中，所述至少一吸附材料上所述第一流体组分所释放的吸附热的至少一部分沿所述接触器结构轴向传输，例如在所述吸附材料吸附所述第一组分时沿所述吸附剂接触器内的所述导热丝的至少一部分以一第二轴向方向(与所述第一轴向方法相反)，所述第二轴向方向反着沿着所述接触器朝向所述接触器的入口端，以减少所述至少一吸附材料随着所述第一流体组分的吸附而发生的温度脉冲，以及可选地、理想地保留所述吸附剂接触器内的吸附热产生的热能的至少一显著部分以允许在随后再生所述吸附材料时回收这种热能。与流体混合物进料相比消耗了所述第一流体组分的第一产品流体随后

从所述吸附剂接触器的所述出口端回收。

[0025] 在一个实施例中,可以执行一中间循环或预再生步骤,以理想地解吸所述第二流体组分或其他稀薄的流体组分的至少一部分,所述第二流体组分或其他稀薄的流体组分随着所吸附的第一流体组分不理想地共同吸附在所述至少一吸附材料上(这种不理想的第二和/或稀薄的流体组分可能在在前的冷却或调节(conditioning)步骤或者在进料吸附步骤因所述吸附材料的不完全的选择性吸附在所述吸附材料上),从而增加了从所述第二和/或任何其他稀薄的流体组分分离所述第一流体组分的动态选择性。这种中间的预再生步骤在进料流体混合物中所述第一流体组分相对稀薄时用于分离特别理想,例如所述第一流体组分的浓度低于约10%,优选低于约5%。这种中间预再生步骤可以理想地在一中间温度进行,所述中间温度高于吸附或进料步骤的温度,低于随后的解吸或再生步骤的温度。在一个这样的实施例中,可以通过以下一种或多种方式为这种预再生步骤提供热量:在一中间温度提供一冲洗流体以及通过所述吸附剂接触器内的导热丝提供热量到所述吸附材料。在一个这样的特定实施例中,富集所述第一组分的加热的冲洗流体可以用作适当的冲洗流体,使得吸附在所述吸附材料上的所吸附的第二或者稀薄的流体组分中的至少一部分在一中间温度解吸并被来自所述加热的冲洗流体中的第一流体组分在所述吸附材料上的额外吸附所替代,使得所吸附的流体种类仅包括所述第一流体组分。在该步骤之后,所得的、排出所述吸附剂接触器的冲洗流体可以再循环,例如作为回流提供到吸附剂接触器的所述入口端或出口端(例如可以是底部到底部或者“重的”回流,在后续的循环中供应到所述吸附剂接触器的入口端或重端)或者循环到进料流体中在后续进料步骤中进入所述吸附剂接触器。在一个这样的优选实施例中,所述冲洗流体可以在这样的预再生步骤中以适当的温度和空间容量($V_{\text{gas}}/V_{\text{ads}}/t$)提供给所述吸附剂接触器,所述空间容量大于不理想地吸附的第二或稀薄的流体组分解吸的传质速率($1/s$),但是低于吸附在所述吸附材料上的第一流体组分解吸的传质速率($1/s$)。

[0026] 在这样回收所述第一产品流体以及可选的这样的预再生冲洗步骤之后,吸附在所述至少一吸附材料上的所述第一流体组分的至少一部分通过对所述至少一吸附材料加热来解吸,热量以沿所述吸附剂接触器的所述导热丝的至少一部分以任一轴向方向传递,以提供在解吸步骤中所述第一流体组分从所述至少一吸附材料解吸的解吸热(解吸所需的能量)和/或动力学激活热(将吸附的第一组分分子从吸附表面转移到气相所需的能量)的至少一部分。加热所述吸附材料可以通过提供至少一热源来实现,包括但不限于:提供一加热的解吸或冲洗流体给所述吸附剂接触器,其可以包括加热的惰性气体、循环气体和/或可冷凝气体诸如蒸汽或溶剂;加热所述吸附剂接触器结构内的导热丝或其他材料,例如通过电阻加热导热丝,或者通过间接加热这样的丝材或结构材料,例如通过热传递媒介。最后,从在所述平行通道式吸附剂接触器的所述入口和出口端中至少一个回收解吸的第二产品流体,所述第二产品流体富集从所述吸附材料解吸的所述第一流体组分。在本发明的一个实施例中,可冷凝冲洗流体用于提供解吸步骤中加热所述吸附剂材料的至少一部分,所回收的产品流体随后冷却,以冷凝所述冲洗流体(例如蒸汽或溶剂)并从所述解吸产品流体中移除,从而允许所述解吸产品流体的纯度增加。

[0027] 根据上述实施例的TSA分离方法可以随后可选地在所述平行通道式吸附剂接触器重复,以提供连续的或重复的循环分离方法,以将第一流体组分从所述进料流体混合物中

分离。尤其是,根据本TSA分离方法操作的吸附分离系统可以理想地包括两个或多个平行通道式吸附剂接触器,以提供本TSA分离方法的交错操作并允许从一进料流体源连续地和/或半连续地吸附分离。尤其是,吸附分离系统可以包括两个或多个平行通道式吸附剂接触器,使得可以从一个接触器回收所述第一产品流体而从第二接触器回收所述解吸的第二产品流体。该吸附分离系统可以采用任何适当的机械设置,以提供本实施例的所述TSA方法所需的流体流动或对所述流体流动的控制,例如一个吸附分离系统采用机械/气动或其他类型的阀或者其他的流体控制装置,以实施本TSA方法的步骤中的流体流动,例如用现有技术已知的、包括一种、两种、三种或更多种包含吸附材料的吸附器的系统。

[0028] 在本发明的一个实施例中,适于实施本发明的TSA方法的吸附分离系统包括至少一平行管道式吸附剂接触器,每个接触器包括多个基本上平行流体流动通道和多个室壁,所述多个流体流动通道在所述接触器的所述入口端和出口端之间朝向一第一轴向方向,所述室壁包括至少一吸附材料并且位于所述多个流体流动通道之间并分开所述多个流体流动通道。每个适当的这种平行管道式吸附剂接触器还包括多个轴向连续的导热丝,所述多个导热丝朝向所述接触器的所述轴向方向并与包括在所述接触器室壁之内或之上的所述至少一吸附材料直接接触。适于实施根据本发明的一个实施例的TSA方法的一些这种平行通道式吸附剂接触器结构在申请人的也在审的、申请日为2010年2月26日、申请号为PCT/CA2010/000251的PCT国际专利申请中有描述,其内容在此引作参考,其也构成本申请的一部分。适于实施根据本发明的一个实施例的TSA方法的一种特定平行通道式吸附剂接触器结构如图1和2所示,下面会详细描述。

[0029] 图1示出了适于实施根据本发明的一个实施例的TSA方法的一种示例性平行通道式吸附剂接触器结构。整体示为102的该示例性平行通道式吸附剂接触器结构包括由基本上圆柱形外表面108限定的基本上圆柱形。该示例性接触器结构102带有第一和第二端104和106和多个基本上平行的通道110,所述通道从所述第一端104到所述第二端106沿该结构102的长度延伸。所述多个平行通道110优选沿该结构102的长度连续并且适于允许流体流动穿过所述多个平行通道110。平行通道110彼此通过室壁112分开,以形成一示例性蜂窝结构,其中每个通道110由至少一个室壁112从相邻的通道110分开,所述室壁理想地包括至少一吸附材料。平行通道式吸附剂接触器102还包括多个轴向连续的导热丝114,其嵌入或者位于室壁112内,以对所述平行通道式吸附剂接触器结构102在任一轴向方向上提供至少热导率以及还可选地提供电导率。在一个实施例中,如图1所示,所述平行通道式吸附剂接触器结构102为基本上蜂窝结构,其中室壁112基本上设置为网格状,例如如图1所示为矩形网格,或者是六边形或其他多边形、圆形或椭圆形网格。应当理解,出于本说明书的目的,关于所述接触器结构的术语“轴”和“轴向”包括与接触器结构的所述第一和第二端(或者入口端和出口端)之间的线基本上平行的方向,也可以是相对所述接触器以基本上轴向方式延伸的任何方向,例如偏离所述第一和第二端之间的线基本上少于45度的方向。

[0030] 类似地,图2示出了图1所示的所述平行通道式吸附剂接触器结构的详细剖视立体图,其具有基本上矩形网格的蜂窝结构,适于实施根据本发明一个实施例的本TSA方法。在图1和2所示的矩形网格的蜂窝结构102中,多个轴向连续的、导热和/或导电丝114与室壁112直接接触,所述室壁包括至少一吸附材料,所述丝可以有益地嵌入或位于室壁112内两个室壁112交叉处,其大体上对应每个相邻的平行通道110的角落。以这样的方式,所述轴向

连续的、导热和/或导电丝114可以有益地位于接近多个相邻的平行通道110,使得所述丝114提供的导热和/或导电能力接近多个平行通道110并接近在所述平行通道式吸附剂接触器使用时包含在或流经所述平行通道110的流体。在替代实施例中,可以使用侧壁112设置为替代几何形状的蜂窝结构,例如室壁112为六边形、三角形或其他多边形网格设置,导致基本上类似形状的平行的流体流动通道110。而且,其他实施例可以包括剖面形状不是多边形的平行通道,例如圆形、半圆形、椭圆形、长圆形(平行线连接两个半圆的端点形成的形状)剖面。另外,在其他实施例中,轴向连续的传导丝114可以在室壁112的交叉处或者在其他位置(例如在室壁112之内这样的交叉处之间)嵌入室壁112或者位于室壁112内。

[0031] 在图1和2所示的蜂窝平行通道吸附剂接触器102中以及在如上面所述的其他替代实施例中,多个轴向连续且导热和/或导电的丝114可以理想地用于将热量(显热或源自所述丝114的电阻加热)传导进入或传出所述接触器102或者轴向从所述接触器结构的一部分到另一个,因此提供对部分或整个接触器102相应的加热和/或冷却。尤其是,接触器102的所述轴向连续且导热和/或导电的丝114可以理想地热连接到一热源或热池,以将热能传入或传出所述接触器结构102。这种传入或传出所述接触器102的热能可以理想地增加或降低所述接触器102的温度,例如包括所述至少一吸附材料的室壁112的温度,和/或传递热量进入所述吸附剂接触器结构102的所述通道110内的流体或从所述流体传出。可以使用示例性的热回路,所述热回路包括将所述吸附剂接触器结构102的导热和/或导电的丝114连接到可控的热源和/或热池,以通过经所述传导丝114传递热量到所述接触器结构102和/或从所述接触器结构102传出热量,来提供对所述结构的侧壁112以及其内所包括的吸附材料的可控的加热和冷却,通过连接到所述传导丝114的示例性热和/或电回路允许对所述接触器102或流经所述接触器102的流体进行热控制。而且,轴向连续的导热和/或导电丝114还提供在所述接触器结构102本身内以第一或第二轴向方向传递热量,例如从接触器102的第一端104到第二端106,这可以特别理想地提供沿接触器102的所述轴向方向的热曲线的控制。以这样的方式,根据本发明的本TSA方法的实施例可以理想地沿所述平行通道式吸附剂接触器102以任一轴向方向传递热,以控制所述平行通道式吸附剂接触器102内热条件和曲线,所述热条件和曲线独立于流入或流出所述接触器结构102的流体的温度,方式是在所述接触器结构102内(以及可选地传入或传出所述接触器结构102)经由所述轴向连续的传导丝114来传递热量。

[0032] 如上所述的平行通道式吸附剂接触器结构根据本发明的一个实施例用于实施本TSA方法,所述结构可以包括在所述轴向方向相对于横向方向各向异性的热导率,这是因为所述轴向连续的导热丝在所述轴向方向上相对于所述结构在横向方向上的热导率提供基本上增大的热导率。在一个这样的实施例中,这种平行通道式吸附剂接触器结构可以包括各向异性的热导率,其中在所述轴向方向上的热导率为所述结构在横向方向上的热导率的至少10倍,优选至少100倍,这是因为包括在所述结构内的所述轴向连续的导热丝所提供的轴向热导能力。在本发明的一个替代实施例中,所述平行通道式吸附剂接触器可以包括至少一轴向导热材料,使得所述接触器优选在所述轴向方向导热,或者所述接触器在轴向方向是均匀导热的,或者所述接触器具有一个或多个轴向朝向的区域,所述区域与所述接触器结构的其他部分相比具有更高的热导率,所述接触器结构可以包括或者可以不包括多个独立的传导丝。

[0033] 在适于实施本TSA方法的特定实施例中,所述平行通道式吸附剂接触器结构102可以包括一吸附剂组合物,所述吸附剂组合物可以操作以与流经所述平行通道式吸附剂接触器102的所述通道110的流体混合物交互。例如,所述接触器102的所述室壁112可以包括至少一吸附剂组合物,其选为吸附所述流体混合物的第一流体组分,所述流体混合物被允许流经所述流体流动通道110并与所述接触器的所述室壁112接触。在这样的实施例中,所述室壁112内的导热和/或导电的丝114可以有益地提供传递进入或者传出所述吸附结构102的热量,使得可以在所述吸附分离系统中使用所述吸附结构102,以实施本发明的TSA方法,其中室壁112内的活性吸附材料可以通过所述导热和/或导电的丝114加热,以例如在解吸步骤中升高所述吸附材料的温度,并从而解吸一吸附的流体组分的至少一部分。在这样的实施例中,任何适当的已知吸附剂组合物或者其组合可以包括在所述接触器的室壁112之内或之上,所述吸附剂组合物或者其组合可以理想地选择以吸附进料流体混合物中的理想的第一组分。

[0034] 在又一个这样的实施例中,任何适当的已知的活性吸附剂组合物可以包括在所述结构的所述室壁112之内或之上,所述活性吸附剂组合物可以操作吸附允许流经平行通道式吸附剂接触器结构102的所述通道110的进料流体混合物中的第一组分的至少一部分。示例性的这种已知的吸附剂组合物可以包括但不限于:干燥剂、活性炭、碳分子筛、碳吸附剂、石墨、活性氧化铝、分子筛、磷酸铝、硅铝硫酸盐、沸石(zeolite)吸附剂、离子交换沸石、亲水沸石、憎水沸石、改性沸石、天然沸石、八面沸石、斜发沸石、发光沸石、金属替换的硅铝硫酸盐、单极树脂、双极树脂、芳香族交联聚苯乙烯基体、溴化芳香族基体、甲基丙烯酸酯共聚物、石墨吸附剂、碳纤维、碳纳米管、纳米材料、金属盐吸附剂、高氯酸盐、草酸盐、碱土金属颗粒、ETS、CTS、金属氧化物、化学吸附剂、胺类、有机金属反应物、水滑石、硅沸石、沸石咪唑框架和金属有机框架(MOF)吸附材料以及它们的组合。在本发明的一个优选实施例中,可以理想地选择这些适当的活性吸附剂组合物,以对于第一流体组分相对第二流体组分在循环的TSA过程中提供足够高的动态选择性(其包括平衡和/或动力学选择性中的至少一个)。

[0035] 在又一个实施例中,图1所示的蜂窝式平行通道式吸附剂接触器结构102可以包括一挤出的蜂窝结构,例如陶瓷或其他复合浆料通过一模具挤出。在这种情形,所述多个延伸穿过所述平行通道流体接触器结构102的平行通道110和所述多个分开相邻通道110的室壁112可以成型为一示例性挤出模具的形状,例如通过包括多个隔开的销或杆模具元件的挤出模具,通过该模具陶瓷或其他复合浆料挤出形成所述结构102。在这样一个实施例中,所述陶瓷或其复合浆料可以包括至少一非活性或结构性材料,例如粘合材料,以及所述至少一吸附材料,所述吸附材料例如可以操作以与流经结构102的通道110的流体交互。在其他实施例中,所述非活性或结构性材料可以包括以下材料中的至少一个:粘土、陶瓷、胶体、硅土、粘合剂、树脂和键合剂组合物、或者它们的组合。

[0036] 根据本发明的一个适于实施根据本发明的实施例的TSA方法的实施例,轴向连续的导热和/或导电丝114可以包括任何适当的已知导热和/或导电材料,所述材料可以拉伸、成型或设计形成一连续丝114。在一个优选实施例中,丝114可以包括一种或多种具有理想的高热导率的材料,以使得热量在接触器102内以所述轴向方向充分传导进入或传出平行通道式流体接触器结构102的室壁112,和/或传导进入或传出流经接触器102的通道110的流体。示例性的这种已知导热材料可以包括但不限于:铝、铜、钨、银、金以及它们的合金,以

及碳、碳纤维和纳米纤维材料。有益地,适当的接触器结构102内的所述轴向连续传导丝114由适当的材料制成,所述材料的轴向热导率至少为 200W/mK (瓦/毫开尔文),优选至少为 400W/mK ,以提供能够将热量充分传出、传入所述接触器结构102或者在所述接触器结构102内传输。在一个特定实施例中,所述轴向连续的导热和/或导电的丝114可以包括一导热碳材料,所述碳材料包括酚醛树脂基碳纤维、中间相碳纤维和碳纳米管材料中一个或多个,其中所述碳材料的轴向热导率至少为 400W/mK ,优选至少为 500W/mK 。在又一个实施例中,可以选择所述轴向连续的导热和/或导电的丝114的材料类型和相对尺寸和间隔,以提供整个平行通道式吸附剂接触器结构的整体轴向热导率至少为 0.25W/mK ,优选至少约为 1W/mK 。在又一个实施例中,可以选择所述轴向连续的导热和/或导电的丝114的材料类型和相对尺寸和间隔,以提供整个平行通道式吸附剂接触器结构的整体轴向热导率至少约为 10W/mK 。在一个示例性实施例中,所述平行通道式吸附剂接触器结构包括约35%的空隙率并包括轴向热导率约为 600W/mK 的传导丝,该结构例如可以理想地包括至少约 10W/mK 的整体轴向热导率,优选至少约 20W/mK 。

[0037] 在又一实施例中,在接触器结构102内轴向延伸的、所述轴向连续的导热丝114也可以导电。优选地,这种导电丝114可在电流以一轴向方向流过所述丝114时电阻式发热。因此,导电丝例如可以通过将所述导电丝连接到一电流并控制电流流经所述丝来可控地加热或冷却,以通过电阻式加热的方式升高和/或降低所述丝114的相对温度,以实施本发明的TSA方法的解吸步骤。这依次提供对加热和/或冷却所述平行通道式流体接触器结构102的室壁112的电控制,所述室壁与所述丝114直接接触,而且还依次提供对加热和/或冷却所述一个或多个活性吸附剂组合物的电控制,所述活性吸附剂组合物包括在所述结构102的所述室壁112之内或之上。因此,在这样一个实施例中,流经所述结构102的所述丝114的电流的控制可以用于提供对加热和冷却所述结构的所述室壁112之内或之上吸附材料的电控制。

[0038] 另外,应当注意,对于实施根据本发明的实施例的TSA方法的、所有上述用于吸附分离系统的实施例,所述平行的流体流动通道110、室壁112和轴向连续的导热丝114的相对尺寸可以设置为适于用于任何理想应用或使用的接触器结构102的理想参数,例如包括压力降的流体流动的理想参数、结构完整性和强度的参数、结构102的孔隙度和/或孔隙率、所述结构的热容量和/或重量以及丝114提供的轴向热导率,还有其他可能的理想参数。

[0039] 在本发明的一个替代实施例中,所述吸附分离系统中的平行管道式吸附剂接触器可以包括轴向连续的导热丝之外的其他轴向导热装置。在这样一个替代实施例中,这种轴向导热装置可以例如包括不连续的或无规朝向的导热元件和/或轴向导热吸附材料,其可以操作以在所述吸附剂接触器结构内一基本上轴向方向传热。在这样一个替代实施例中,本TSA方法或者可以包括将吸附热沿所述替代的轴向导热装置的至少一部分以一逆流的第二轴向方向传递的步骤,所述第二轴向方向基本上与在吸附步骤允许进入所述吸附剂接触器的进料流体的所述第一轴向方向相反。所述TSA方法的这样的替代实施例例如还可以包括沿所述替代的轴向导热装置的至少一部分以基本上任一轴向方向传热的步骤,以提供解吸步骤中解吸热的至少一部分。

[0040] 图3示出了根据本发明的一个实施例的、在吸附步骤开始阶段一平行通道式吸附剂接触器的轴向热曲线图300,示出了在所述吸附剂接触器内的吸附材料的温度沿所述平

行通道式吸附剂接触器的轴向302从入口端304到出口端306的散点图320,吸附剂接触器的温标308从下限温度T1310到上限温度T2312。在所述示例性散点图320中,所述进料流体混合物允许以一第一轴向方向314进入,从所述入口端304流向所述平行通道式吸附剂接触器的所述出口端306。所述平行通道式吸附剂接触器的温度在吸附开始阶段在入口端305升高至温度322,这是因为在根据本发明的一个实施例的TSA方法的吸附步骤中随着第一流体组分开始在热前缘(其和传质前缘一起包括吸附前缘)的前沿处的所述吸附材料吸附所释放的吸附热。因此,328处示出了所述接触器的最低温度,其在所述入口端304的稍上游。在所述吸附步骤中,源自所述第一流体组分在至少一吸附材料上的吸附热的热量在所述平行通道式吸附剂接触器产生热脉冲,所述吸附材料位于所述接触器的室壁之内或之上,所述脉冲不理想地倾向于升高所述吸附材料的温度并降低吸附容量,从而降低从所述进料流体混合物中移除所述第一流体组分的效能。源自所述第一流体组分的吸附热的一部分热量可以通过在所述接触器内实现对流316沿所述接触器朝向所述出口端306传递,这是因为允许进入所述接触器的流体混合物的移动和移动朝向所述出口端306。但是这种对流效果316仅仅在与流体流动314的第一轴向方向相同时有效,因此仅可以用来升高所述接触器和吸附材料的温度朝向出口端306。

[0041] 因此,本TSA方法的一个实施例提供将所述第一流体组分在所述平行通道式吸附剂接触器内的吸附材料上的吸附热沿所述导热丝的至少一部分以一第二轴向方向318的传递,所述第二轴向方向朝向所述接触器的入口端304并且与所述进料流体314流动的所述第一轴向方向以及通过所述吸附剂接触器的相应的对流热运动316相反。这种以所述第二方向318通过沿所述接触器内的所述导热丝的至少一部分传导并且与进料流体流经所述接触器的流动反向或逆流的热传递可以有益地减少所述接触器和吸附材料的温度的热脉冲,所述热脉冲随着吸附前缘以所述第一轴向方向314从所述吸附剂接触器的所述入口端304朝向所述出口端306移动由吸附热产生,因此理想地增大吸附能力和所示吸附材料的效能。而且,这种在所述平行通道式吸附剂接触器内沿导热丝的至少一部分的传导还可以理想地减少热量,其可以在进料流体314经过所述接触器时通过对流316带走,并在所述第一产品流体离开所述接触器的出口端306时从所述接触器移除,这会不理想地增加在解吸或再生步骤所述第一流体组分从所述吸附材料解吸所需的热量(包括解吸热和/或动力学活化热)。

[0042] 图4示出了根据本发明的一个实施例的、在吸附阶段一平行通道式吸附剂接触器的轴向热曲线图400,示出了在所述吸附剂接触器内的吸附材料的温度沿所述平行通道式吸附剂接触器的轴向302从入口端304到出口端306的散点图420,吸附剂接触器的温标308从下限温度T1310到上限温度T2310。在所述示例性散点图420中,所述进料流体混合物允许以一第一轴向方向414进入,从所述入口端304流向所述平行通道式吸附剂接触器的所述出口端306,以作为消耗了所述第一流体组分的第一产品流体回收,所述吸附前缘422的前沿在所述吸附步骤轴向沿所述接触器移动。所述平行通道式吸附剂接触器在所述温度吸附前缘的前沿422处的温度(其和传质前缘一起包括在吸附时移动通过所述接触器的吸附前缘)高于所述平行通道式吸附剂接触器426的入口端的温度,这是因为在以所述第一方向的对流416下吸附热的一部分顺流移动。但是,如本发明的TSA方法所提供,源自所述第一流体组分在所述吸附材料上的吸附热的热量沿所述平行通道式吸附剂接触器结构的所述导热丝的一部分传导以所述第二轴向方向424传递,所述第二轴向方向与进料流体混合物的流

动414逆流。这种通过传导的逆流热传递在接近前进的吸附前缘处、靠近所述接触器的所述入口端处以及在所述逆流热量418通过沿所述接触器的所述导热丝的至少一部分传导时朝向所述接触器428的最冷处时很明显,从而提供理想的、提高的对热量的保留,所述热量源自所述接触器内所述第一流体组分的吸附热。由于随着吸附进行通过所述接触器所述吸附前缘的传质前缘组分通常滞后于热前缘,这种沿所述接触器的所述导热丝的至少一部分逆流传导的热418也可以有益地允许所述传质前缘进一步前进通过所述吸附剂接触器并朝向所述出口端306,同时基本上将源自所述热前缘的热量(源自吸附热)保留在所述接触器内,并因此有益地在吸附时增加对所述吸附剂接触器的吸附容量的利用,并增加所述TSA方法的效率。

[0043] 图5示出了根据本发明的一个实施例的、在吸附步骤结束阶段一平行通道式吸附剂接触器的轴向热曲线图500,示出了在所述吸附剂接触器内的吸附材料的温度沿所述平行通道式吸附剂接触器的轴向302从入口端304到出口端306的散点图520,吸附剂接触器的温标308从下限温度T1310到上限温度T2312。在所述示例性散点图520中,不再允许所述进料流体混合物进入所述接触器,不再从所述出口端306回收消耗了所述第一流体组分的所述第一产品流体,现在允许解吸或冲洗流体流530从所述出口端306进入,以所述第二轴向方向从所述出口端流动朝向所述平行通道式吸附剂接触器的所述入口端304。所述吸附前缘528的前沿刚进入所述接触器的出口端306并会在解吸步骤沿所述接触器移动朝向所述入口端304。所述平行通道式吸附剂接触器的最高温度520在所述出口端处并朝向所述吸附前缘528的所述前沿下降,这是因为在解吸步骤将所述第一流体组分从所述吸附材料上解吸需要解吸热。理想地,本TSA方法的一个实施例通过沿所述平行通道式吸附剂接触器内的所述轴向导热丝的至少一部分传导来提供热传递,以提供从所述吸附材料解吸所述第一流体组分所需的解吸热和/或动力学活化的至少一部分。图5所示的通过沿所述接触器的所述传导丝传导来提供的这种传热518为所述第二方向或者是与朝向所述接触器的所述入口端304的解吸或冲洗流体530的流动顺流。随着所述解吸前缘经过所述接触器朝向所述入口端304,沿所述接触器的所述导热丝的至少一部分的热传导为所述第一方向或者所述第二方向,即与解吸或冲洗流体530顺流或逆流,以提供从所述吸附材料解吸所述第一流体组分的解吸热的至少一部分。这种传热还可以理想地减少因解吸热在所述接触器内的吸附材料的温度的热下降或脉冲,从而增加从所述吸附材料解吸的效率并相应地增加所述吸附材料用于后续吸附循环的容量。在包括如上所述的预再生冲洗步骤的一个替代实施例中,还可以例如通过沿所述接触器的所述导热丝传导热来提供在这样的预再生步骤中从所述吸附材料的解吸不理想地吸附的第二或稀薄的流体组分的解吸热和/或动力学活化能的至少一部分。

[0044] 图6示出了根据本发明的一个实施例的、在解吸或再生步骤结束阶段一平行通道式吸附剂接触器的轴向热曲线图,示出了在所述吸附剂接触器内的吸附材料的温度沿所述平行通道式吸附剂接触器的轴向302从入口端304到出口端306的散点图620,吸附剂接触器的温标308从下限温度T1310到上限温度T2312。在所述示例性散点图620中,不再允许所述解吸或冲洗流体进入所述接触器,不再从所述入口端304回收消耗了所述第一流体组分的所述解吸产品流体,在一个实施例中所述接触器准备开始允许所述进料流体进入并重新开始本TSA方法的吸附步骤。在一个替代实施例中,允许调节(conditioning)流体流614进入

所述接触器,以所述第一轴向方向从所述入口端304流向所述平行通道式吸附剂接触器的所述出口端306,以改变所述接触器内的吸附材料的温度或者在本TSA方法的吸附步骤之前从所述接触器解吸或扫除其他流体组分。在一个实施例中,可以允许调节流体流614进入所述接触器,以在吸附前降低所述吸附材料的温度或者对所述吸附材料除湿或者进行其他调节。在这样一个可选的调节步骤,本TSA方法的一个实施例可以通过与调节流体614的流动顺流的对流来沿所述平行通道式吸附剂接触器在第一轴向方向提供热传递616。在一个可选实施例中,可以通过沿所述接触器的所述导热丝的至少一部分的传导来提供热传递,所述丝可以在所述第一或第二轴向方向传导热以理想地减少在吸附之前所述吸附材料的温度的变化。在所述解吸或再生步骤(或者对于替代实施例在调节步骤)结束后,所述平行通道式吸附剂接触器的最高温度620在所述出口端并朝向接近所述接触器的入口端304处的最低温度628下降,以准备本TSA方法的吸附步骤的重新开始。

[0045] 在本发明的一个实施例中,所述第一流体组分在所述至少一吸附材料上的吸附可以发生在第一吸附材料温度、或者在所述平行通道吸附剂接触器的热曲线上的第一吸附材料温度范围,其有别于第二吸附材料温度或者第二吸附材料温度范围,在所述第二吸附材料温度或者第二吸附材料温度范围在解吸步骤发生所述第一流体组分的解吸。在这样一个实施例中,通过加热所述吸附材料以解吸所述第一流体组分,因此,发生解吸的所述第二温度通常高于所述第一流体组分进行吸附的所述第一温度。在本发明的一个实施例中,所述TSA方法包括一中间的预再生步骤,所述预再生步骤可以包括从所述吸附材料解吸和/或置换不理想地吸附的第二或稀薄的流体组分的至少一部分,这可以发生在另一中间温度或温度范围,优选在吸附时的第一吸附材料温度和在解吸步骤再生或者解吸所述第一流体组分的第二吸附材料温度之间。在本发明的一个实施例中,所述TSA方法包括一调节步骤,所述调节步骤包括在允许进料流体混合物进入所述接触器吸附之前调节所述至少一吸附材料至一预吸附温度的步骤。在一个这样的实施例中,所述调节步骤包括允许至少一调节流体进入所述平行通道式吸附剂接触器的步骤,所述至少一调节流体可以包括一热传递流体,以通过将所述调节和/或热传递流体与所述接触器直接接触来传热到所述吸附剂接触器和/或从所述吸附剂接触器传热,以将所述接触器内的所述吸附材料调节到理想的预吸附温度。任何适当的已知调节和/或热传递流体可以用于这种预调节步骤,例如但不限于空气、水蒸汽、水、冷却剂、可冷凝溶剂、蒸汽等。在一个实施例中,所述理想的预吸附温度通常低于发生吸附的所述第一温度,但是在一个替代实施例中,所述预吸附温度可以高于所述第一吸附温度,但是低于所述第二解吸温度。在又一个相关的实施例中,这种调节步骤可以理想地包括对所述平行通道内的所述吸附材料进行次级冲洗的步骤,使得在所述解吸步骤第一次冲洗后,次级冲洗流体流经过所述接触器并因此与所述至少一吸附材料接触,以在本TSA方法的下一个吸附步骤重新开始之前调节所述吸附材料到理想的预吸附温度和/或以进一步从所述吸附材料解吸或扫除一个和多个流体组分。

[0046] 在本发明的又一个实施例中,所述平行通道式吸附剂接触器可以包括至少第一和第二吸附材料,在所述吸附步骤所述第一流体组分的至少一部分吸附在至少所述第一吸附材料上。在一示例性设置中,所述第一和第二吸附材料可以包括在所述吸附剂接触器的分别的第一和第二轴向部分,在所述吸附剂接触器内一部分位于另一部分的上游。在一个这样的实施例中,所述第一吸附材料从所述进料流体混合物吸附所述第一流体组分的至少一

部分,本TSA方法的解吸步骤可以通过加热所述第一吸附材料从所述第一吸附材料解吸所吸附的第一流体组分的至少一部分,所述加热独立于所述第二吸附材料且基本上不需要加热所述第二吸附材料。在一个这样的实施例中,所述吸附剂接触器内的导热丝还可以理想地导电,在所述解吸步骤对所述第一吸附材料的这种独立的加热可以通过仅仅与所述第一吸附材料接触的丝施加电流来实现,以加热所述第一吸附材料并从上解吸所述第一吸附材料而无需实质上加热所述第二吸附材料。

[0047] 在又一个实施例中,本TSA方法还可以包括在解吸时供应适当的冲洗流体进入所述平行通道式吸附剂接触器的步骤和从所述接触器回收包括所述第一流体组分和所述冲洗流体的吸附产品流体的步骤。在这样的一个实施例中,所述冲洗流体可以在所述解吸步骤供应给所述吸附剂接触器的入口端和出口端中的至少一个,并且随着从所述至少一吸附材料部分解吸的第一所述流体组分,可以以所述第一和第二轴向方向中的至少一个传递通过所述吸附剂接触器内的所述平行通道式流体管道。所述冲洗流体还可以用于提供在本TSA方法的解吸步骤(或者在一替代实施例中的中间预再生步骤)加热所述吸附材料所需的热量的至少一部分。在一个方面,可以在所述解吸步骤通过提供至少一冲洗或热传递流体以升高的温度进入所述平行通道式流体接触器来加热所述吸附材料。在另一个实施例中,所述解吸步骤可以包括通过加热所述接触器的导热丝从而直接加热所述平行通道接触器的、包括所述吸附材料的室壁来直接加热至少一吸附材料,以解吸所述第一流体组分。在一个这样的实施例中,可以通过一显热源加热所述导热丝,在一个替代实施例中,所述导热丝也导电,可以通过将电流通过所述丝来直接加热所述丝并从而加热所述接触器的室壁内的吸附材料,所述加热例如是所述丝的电阻加热或焦耳加热。在一特定方面,使用所述接触器中所述丝的电阻加热或焦耳加热,以提供在解吸时对所述吸附材料直接的、精确的加热,可以提供本发明的TSA方法的减少的循环次数,并允许将传统的长的循环时间(通常数小时或更长)减少到明显短的循环时间,例如短于两分钟的TSA步骤(例如吸附、解吸等),优选短于90秒。

[0048] 在一特定实施例中,所述平行通道式接触器还在所述接触器相应的第一和第二轴向部分包括第一和第二吸附材料,所述解吸步骤可以包括通过电加热所述接触器所述第一轴向部分的所述传导丝来从所述第一吸附材料解吸第一流体组分的至少一部分,所述第一轴向部分独立于所述第二轴向部分内第二吸附材料。在又一个实施例中,所述第一和第二部分可以依次加热,例如在本TSA方法的解吸步骤单独地电阻加热所述第一和第二部分。在一个这样的实施例中,所述第一轴向部分可以位于靠近所述接触器的出口端处,所述第二轴向部分可以位于由所述第一部分朝向所述接触器的入口端处,并对应所述第一和第二轴向部分的依次解吸,在本TSA方法的回收步骤可以从所述入口或出口端(取决于解吸时流体流经所述接触器的方向)回收第一和第二解吸产品流体,所述第一和第二解吸产品流体富集从所述第二吸附材料上解吸的所述第一流体组分和另一流体组分。

[0049] 根据本TSA方法的一个实施例,任何适当的已知吸附材料可以用于与所述TSA方法结合使用作为包括在所述平行通道式吸附剂接触器的室壁之内和/或之上的吸附材料,所述吸附材料例如是用于吸附所述进料流体混合物中理想的流体组分所用的。在一个优选实施例中,这种吸附材料可以在所述TSA循环理想地提供足够高的、与进料流体的其他部分相比对所述第一流体组分的动态选择性(例如包括平衡和/或动力学选择性)。在一些特定实

施例中,用于本TSA方法的所述接触器包括两个或多个部分,例如所述平行通道式吸附剂接触器的两个或多个轴向隔开的部分,任何适当的已知吸附材料可以包括在每一个所述接触器部分中,以提供从所述进料流体混合物中对一个或多个流体组分的理想的吸附。在一个这样的实施例中,所述吸附剂接触器包括多个分开的部分或段,所述部分或段包括同样的吸附材料或者吸附材料的组合,在又一个实施例中,不同的吸附材料(或者吸附材料的组合)包括在每个所述接触器部分或段,以在本TSA的吸附步骤选择性吸附所述进料流体混合物的不同流体组分。在吸附剂接触器的部分或段包括多种不同吸附材料的情形,所述多种吸附材料例如可以理想地选择,以与特定进料流体组分的吸附彼此匹配,并且在预期的吸附和解吸条件。

[0050] 适于用于本TSA方法的选择的实施例的、示例性的已知吸附材料包括但不限于:干燥剂、活性碳、碳吸附剂、石墨、碳分子筛、活性氧化铝、分子筛、磷酸铝、硅铝硫酸盐、沸石吸附剂、离子交换沸石、亲水沸石、憎水沸石、改性沸石、天然沸石、八面沸石、斜发沸石、发光沸石、金属替换的硅铝硫酸盐、单极树脂、双极树脂、芳香族交联聚苯乙烯基体、溴化芳香族基体、甲基丙烯酸酯共聚物、石墨吸附剂、碳纤维、碳纳米管、纳米材料、金属盐吸附剂、高氯酸盐、草酸盐、碱土金属颗粒、ETS、CTS、金属氧化物、化学吸附剂、胺类、有机金属反应物和金属有机框架吸附材料以及它们的组合。

[0051] 在本发明的TSA方法的一个实施例中,所述TSA方法的多个步骤可以理想地在基本上恒压或等压条件下进行。在一个特定实施例中,允许进料流体进入所述吸附剂接触器、吸附一流体组分、回收一第一产品流体、解吸一吸附的组分和回收一解吸的第二产品流体全在基本上大气压下进行。在一个替代实施例中,本TSA方法的步骤在一基本上恒定的升高压力下进行,例如在一等压的超大气压条件。在又一个替代实施例中,本TSA方法的所述允许、吸附和回收一第一产品流体的步骤可以在一第一基本上恒定的压力条件下进行,例如在大气压在,而所述解吸和回收一解吸的第二产品流体的步骤可以在一升高的压力条件下进行,例如升高的超过大气压的压力。在一个这样的实施例中,所述吸附剂接触器可以在所述解吸步骤前密封,在所述吸附步骤对所述吸附材料的加热可以随着从所述吸附材料解吸吸附的流体组分导致所述接触器内压力升高,从而将所述接触器的压力提高到一超大气压水平。这样,所述解吸的第二产品流体可以可选地在高于吸附步骤进行的压力的、理想的高压力条件下回收,所述解吸在所述高压力条件下进行,以提供带压力的第二产品流体,这在一些应用中是理想的。

[0052] 根据本发明的一个特定方面,提供一种变温吸附方法(TSA),该方法尤其意在从包括至少二氧化碳和氮气组分的烟道气进料混合物中分离二氧化碳。用于分离二氧化碳的这种TSA方法尤其适于从热电厂的烟道气或废气中分离二氧化碳的至少一部分,所述热电厂例如是煤电厂或天然气电厂。在一个意在移除烟道气进料混合物中的二氧化碳的实施例中,提供一种变温吸附方法(TSA),用以从包括至少二氧化碳和氮气组分的烟道气进料混合物中分离至少二氧化碳组分。在这样一个实施例中,所述TSA方法可以包括允许所述烟道气混合物进入一吸附分离系统的初始步骤,所述吸附分离系统包括至少一平行通道式吸附剂接触器。尤其是,适当的这种平行通道式吸附剂接触器可以包括多个基本上平行的流体流动通道和多个室壁,所述多个流体流动通道位于所述接触器的入口和出口端之间、以第一轴向方向朝向,以允许流体流经所述接触器,所述多个室壁包括位于所述多个流体流动通

道之间且分开所述多个流体流动通道的、至少一二氧化碳吸附材料。所述平行通道式吸附剂接触器还可以理想地包括多个轴向连续的导热丝,所述导热丝朝向所述轴向方向并与包括在所述接触器的所述室壁之内或之上的所述至少一二氧化碳吸附材料直接接触。所述烟道气随后允许进入所述平行通道式吸附剂接触器的入口端,以第一轴向方向流经所述接触器朝向所述出口端,二氧化碳组分的至少一部分可以在所述至少一二氧化碳吸附材料上吸附,所述吸附材料可以优选相对于氮气和/或所述烟道气混合物的其他组分选择性吸附二氧化碳。

[0053] 在本实施例中,在二氧化碳在所述二氧化碳吸附材料的吸附步骤,所述二氧化碳组分在所述至少一二氧化碳吸附材料上释放的热量随后沿所述吸附剂接触器内的所述导热丝的至少一部分以第二轴向方向(与所述第一轴向方向相反)传递,反向沿着所述接触器朝向所述接触器的所述入口端。这种以所述第二轴向方向的热传递可以理想地减少随着二氧化碳的吸附所述至少一二氧化碳吸附剂的温度的脉冲,而且还可选地理想地将源自所述吸附热的热能的至少显著部分保留在所述吸附剂接触器内,以在以后的所述二氧化碳吸附材料再生时利用所述热能。相对于所述烟道气进料混合物消耗了二氧化碳的烟道气产品流随后从所述吸附剂接触器的所述出口回收。在意在从热电厂烟道气中移除二氧化碳的实施例中,这种第一产品流体可以理想地包括一基本上无二氧化碳的烟道气产品流,其随后排到大气或者在排放前进行其他处理,因此预计会对碳排放有显著减小的影响,这是因为二氧化碳的移除,这对于减小对大气中二氧化碳的水平的影响是理想的。回收所述烟道气产品流之后,吸附在所述至少一二氧化碳吸附材料上的二氧化碳的至少一部分通过加热所述至少一吸附材料来解吸,沿所述吸附剂接触器的导热丝的至少一部分的以所述第一或第二方向传递热,以提供所述二氧化碳从所述吸附材料解吸的解吸热的至少一部分,这在解吸步骤是需要的。最后,从所述平行通道式吸附剂接触器的入口和出口端的至少一个回收解吸的、富集二氧化碳的二氧化碳产品。

[0054] 根据上述实施例的本TSA二氧化碳分离方法可以可选地在所述平行通道式吸附剂接触器重复进行,以提供从所述烟道气进料混合物中分离二氧化碳的连续的或重复的循环分离方法。尤其是,类似于上面所描述,在其他实施例中,根据本TSA的二氧化碳分离方法操作的吸附分离系统可以理想地包括两个或多个这种平行通道式吸附剂接触器,以提供本TSA分离方法的交错的操作并允许从烟道气源连续的和/或半连续的吸附分离操作,所述从烟道气源例如是热电厂。如上所述,采用机械/气动或其他类型的阀或者其他的流体控制装置的适当的吸附分离系统,可以用于实施本TSA方法的步骤中的气体流动,例如用现有技术已知的、包括一种、两种、三种或更多种包含吸附材料的吸附器的系统。

[0055] 类似于上面所述,在本发明的一个实施例中,适于实施所述二氧化碳分离方法的吸附分离系统可以包括至少一平行通道式吸附剂接触器,每一平行通道式吸附剂接触器包括多个基本上平行的流体流动通道和多个室壁,所述多个通道在所述接触器的所述入口和出口端之间以第一轴向方向朝向以允许气体流经所述接触器,所述多个室壁包括至少一二氧化碳选择性吸附材料且位于所述多个流体流动通道之间并分开所述多个流体流动通道。每一适当的所述平行通道式吸附剂接触器还包括多个轴向连续的导热丝,所述导热丝以所述接触器的轴向朝向并与包括在所述接触器的所述室壁内的所述至少一二氧化碳吸附材料直接接触。如上面所述,一些这种平行通道式吸附剂接触器结构在申请人的也再审的PCT

国际专利申请PCT/CA2010/000251中有描述,其内容在此引作参考其内容在此引作参考,其也构成本申请的一部分,所述结构适于用于实施根据本发明的一个实施例的所述TSA二氧化碳分离方法。如上所述,适于实施根据本发明的一个实施例的所述TSA二氧化碳分离方法的一个特定平行通道式吸附剂接触器设置如图1和2所示。

[0056] 在一个实施例中,所述TSA二氧化碳分离方法还可以包括一调节步骤,以在允许所述烟道气进料混合物进入和二氧化碳吸附之前将所述吸附剂接触器内的至少一二氧化碳吸附剂调节至理想的预吸附温度。类似于上面所述,在其他实施例中,这样的调节步骤可以包括将所述至少一二氧化碳吸附材料调节至任何理想的或适当的预吸附温度,例如低于在所述TSA方法的吸附步骤的所述二氧化碳吸附剂的吸附温度,或者高于所述吸附温度但是低于在所述TSA方法的解吸步骤的所述吸附剂的解吸温度。而且,类似于上面所述,所述二氧化碳吸附剂的吸附温度可以理想地低于在所述解吸步骤的解吸温度,使得从所述吸附剂解吸二氧化碳可以通过加热所述吸附材料来完成,例如直接加热所述吸附剂接触器内的导热丝。

[0057] 在一个特定实施例中,所述TSA二氧化碳分离方法可以用于从来自热电厂的烟道气(例如燃煤锅炉烟道气)中分离二氧化碳,以理想地从所述烟道气基本上移除二氧化碳,以允许捕获二氧化碳并从而显著降低所述发电厂的碳排放。在一个这样的实施例中,燃煤锅炉烟道气进料混合物可以包括约12%的二氧化碳、84%的氮气和氧气和4%的水蒸汽,并在接近大气压(101.3kPa(千帕))和约40C(摄氏度)供应。在这种情况下,适当的二氧化碳吸附材料可以用于所述吸附分离系统的所述平行通道式吸附剂接触器,以在所述TSA方法的吸附步骤从所述烟道气吸附基本上所有二氧化碳并回收基本上无二氧化碳的烟道气产品流。

[0058] 在本发明的一个优选实施例中,包括在所述平行通道式吸附剂接触器内的至少一二氧化碳选择性吸附材料可以理想地相对所述烟道气混合物中的氮气和其他稀薄的组分动态选择性吸附二氧化碳,使得对二氧化碳的动态选择性足够高,以实用地提供基本上完全的二氧化碳分离。在所述TSA分离方法的周期的这种动态选择性可以包括所述至少一吸附材料的对二氧化碳的平衡选择性和所述至少一吸附材料的对二氧化碳的动力学选择性。在一个这样的优选实施例中,可以允许烟道气混合物以一空间速度($V_{\text{gas}}/V_{\text{ads}}/t$)进入所述吸附剂接触器,所述空间速度低于二氧化碳的传质速率(1/s),但是高于氮气或者其他稀薄组分的传质速率(1/s),使得所述吸附步骤可以包括根据在所述吸附步骤在所述吸附剂温度在所述吸附材料上的二氧化碳和氮气的传质速率的至少一动力学选择性。

[0059] 在所述TSA方法的解吸步骤,可以对所述吸附剂接触器施加冲洗蒸汽,例如从所述出口端以温度约130C和压力约105kPa,以帮助随着所述接触器内的导热丝加热所述吸附剂来解吸。在这种情形,在解吸步骤随着所述二氧化碳从所述吸附材料解吸,一部分的冲洗蒸汽可以吸附在所述吸附材料,由于所述冲洗蒸汽的吸附热所述吸附会放热,所述热量可以通过所述导热丝沿所述接触器轴向传输,其还可以理想地提供二氧化碳连续解吸所需的解吸热的一部分。从所述吸附剂接触器回收的二氧化碳产品理想地具有较高的二氧化碳浓度,以允许从所述烟道气中回收的二氧化碳的压缩、封存、隔离或其他工业使用(例如在提高原油采收率时注入使用)。在一个这样的实施例中,回收的二氧化碳产物流的蒸汽组分可以理想地冷凝以从所述产品流中移除,从而导致所述二氧化碳产物的纯度增加。在又一个实施例中,所述冲洗气体还可以包括空气、蒸汽和消耗了二氧化碳的烟道气产品流中至少

一个。在又一个实施例中,可以在所述解吸步骤允许传热流体进入所述接触器,以加热所述吸附材料,所述传热流体例如为升高的温度并且可以与冲洗气体并用或者代替冲洗气体。这种传热流体可以包括空气、蒸汽、富集二氧化碳的产品气体和消耗了二氧化碳的烟道气产品流中至少一个。在一个特定实施例中,所述二氧化碳吸附材料还可以通过加热所述吸附剂接触器内的导热丝来直接加热,例如通过对所述丝施加显热,或者在导电丝的情形,施加电流以通过电阻或焦耳热来直接加热所述丝。

[0060] 在一个替代实施例中,特别理想地适用于从烟道气流中分离二氧化碳的应用,所述烟道气流具有相对稀薄的二氧化碳浓度,例如低于10%,优选低于5%,所述TSA方法还可以包括一中间的循环或预再生步骤,在所述步骤对所述吸附材料提供一限量的热,以加热所述接触器到一中间温度,所述中间温度足够解吸共同吸附在所述吸附材料上的不理想的氮气组分(或者其他稀薄组分)。在这样的情形,可以使用任何适当的方式加热所述吸附材料,例如以下的一种多多种:提供加热的冲洗气体、加热的循环气体或加热的二氧化碳产品气体给所述吸附剂接触器,和/或直接或电加热所述吸附剂接触器内的所述传导丝。在该步骤离开所述吸附剂接触器的所得的循环流体随后可以在所述TSA方法内循环,以提供热量用于另一吸附或预再生步骤和/或循环到进料流中用于在后续的吸附或进料步骤中再进入。

[0061] 所述二氧化碳产品回收之后,本TSA方法还可以包括一调节步骤,其中低于约40C且基本上为大气压(101.3kPa)的室温空气进入所述接触器的入口端,以调节所述吸附材料以在下一循环重新开始所述吸附步骤。所述调节步骤可以理想地通过空气从所述吸附材料移除显热来对所述吸附材料降温,而且还移除从所述蒸汽冲洗气体流中吸附在所述吸附材料上的水分的至少一部分,从而在下一吸附步骤之前干燥所述吸附材料,而且还对所述吸附材料冷却,这是因为在干燥时从所述吸附材料解吸水分移除的热量。但是,在一些实施例中,使用空气作为冷却流体的冷却步骤可能导致氮气或其他稀薄组分的至少一部分在吸附材料的吸附,因此使得上述的预再生或再循环步骤有必要,以保持所述吸附剂接触器再生时所述解吸的二氧化碳产品的高纯度,这对于碳封存、压缩和/或二氧化碳在提高采油率中的应用中是理想的。

[0062] 在本TSA二氧化碳分离方法的一些实施例中,任何适当的已知二氧化碳吸附材料可以用于所述吸附分离系统的所述平行通道式吸附剂接触器,以在该方法的吸附步骤吸附二氧化碳。潜在可能的、适当的这种二氧化碳吸附剂可以包括但不限于:活性炭吸附剂、胺类浸渍的吸附剂支撑体(包括硅土、活性炭、碳分子筛、氧化铝、沸石、聚合物和陶瓷支撑体)、金属盐、金属氢氧化物、金属氧化物、沸石、水滑石、硅沸石、有机金属框架和沸石咪唑框架吸附材料以及它们的组合。在一个特定实施例中,适当的二氧化碳吸附材料可以选择为相对于烟道气进料混合物中的其他气体组分理想地选择性吸附二氧化碳。在一个特定实施例中,适当的二氧化碳吸附材料可以选择为定制为相对氮气对二氧化碳有高的动力学选择性。因此可以选择这种理想的高动态选择性的二氧化碳吸附剂,通过选择这种性能的吸附剂或者定制所述平行通道式接触器的性能和/或修改包括在平行通道式接触器内的吸附材料的表面特性,例如修改所述吸附材料的孔的大小、孔隙通道、口袋尺寸(pocket size)等,来提高二氧化碳的平衡和/或动力学选择性,以在循环TSA方法中将二氧化碳对氮气(和/或其他稀薄流体成分)的平衡和动力学选择性最大化。

[0063] 类似于上面在其他实施例中所述,在本TSA二氧化碳分离方法的一个实施例中,

所述吸附剂接触器可以包括至少一第一二氧化碳吸附材料和一第二吸附材料。所述第一和第二吸附材料可以包括类似的或不同的吸附材料并可以包括在所述吸附剂接触器的第一和第二部分,例如第一和第二轴向部分。在这种情形,所述TSA二氧化碳分离方法的解附步骤可以包括通过电加热所述传导丝来从所述第一吸附材料解吸所吸附的二氧化碳的至少一部分,所述第一吸附材料在所述接触器的所述第一轴向部分内并且与在所述第二轴向部分内的所述第二吸附材料分开。在又一实施例中,所述第一和第二轴向部分在本TSA方法的解吸步骤可以顺序加热,例如通过电阻独立地加热所述第一和第二部分,以生成单独的分别的富集二氧化碳的第一产品气体和从所述第二吸附材料解吸的、富集另一种烟道气组分的第二产品气体。在一个这样的实施例中,所述第一轴向部分可以位于靠近所述接触器的出口端处,所述第二轴向部分可以位于从所述第一部分朝向所述接触器的入口端处,并且对应所述第一和第二轴向部分顺序解吸,富集二氧化碳和从所述第二吸附材料解吸的另一烟道气组分的第一和第二产品解吸流体和可以在本TSA方法的回收步骤从所述入口或出口端(取决于解吸时流经所述接触器的流体流动方向)回收。在一个实施例,可以采用包括所述第一二氧化碳吸附剂的三个或多个轴向部分和相应的吸附材料,它们可以依次单独解吸,以生成单独的富集二氧化碳的产品流和相应的其他产品流,这些产品流可以从所述吸附剂接触器分别回收。在一个特定实施例中,与二氧化碳相比分别选择性吸附水、氮氧化物、氧化硫和重金属中的至少一个的第二吸附材料和与二氧化碳相比分别选择性吸附水、氮氧化物、氧化硫和重金属中的至少一个的可选的第三吸附材料可以用于实施在除所述接触器在第一轴向部分的二氧化碳吸附剂之外的分别的第二和第三轴向部分,使得所述第二轴向部分位于靠近所述接触器入口端的所述第一轴向部分的上游,所述第三轴向部分位于所述第一轴向部分的上游和所述第二轴向部分的下游。这样的第二和第三吸附材料因此可以用于从所述烟道气流理想地分离其他污染物,所述污染物可以分别解吸和回收,例如对于区别于所述二氧化碳产品的污染物和/或废弃物。

[0064] 类似于上面描述的其他实施例,在本TSA二氧化碳分离方法的一个实施例中,所述TSA方法的步骤可以在基本上恒压或等压条件下进行。在一个特定实施例中,允许烟道气进料混合物进入所述吸附剂接触器、吸附二氧化碳、回收烟道气产品流、解吸二氧化碳和回收解吸的二氧化碳流可以在基本上大气压下进行。在一个替代实施例中,本TSA方法的所述步骤可以在一基本上恒定的升高的压力下进行,例如在超大气压的压力。在又一个替代实施例中,本TSA方法的所述允许、吸附、解吸和回收烟道气产品流的步骤可以在一第一基本上恒定的压力条件下进行,例如在大气压下,而所述解吸和回收解吸的二氧化碳产品的步骤可以在一升高的压力下进行,例如升高的超大气压的压力。在一个这样的实施例中,所述吸附剂接触器可以在所述吸附步骤之前基本上密封,在吸附步骤加热所述吸附剂接触器,随着所吸附的二氧化碳从所述吸附材料解吸,可能导致所述接触器内的压力增加,从而将所述接触器的压力增加到一超大气压水平。这样,所述解吸的二氧化碳产品流体可以可选地在一理想的、升高的压力下回收,所述压力高于吸附步骤进行的压力,以提供加压的二氧化碳产品流,其在一些应用中是理想的,例如在需要进一步对所述二氧化碳加压来运输、储存、封存或工业应用的情形。

[0065] 在本发明的另一方面,所述变温吸附(TSA)二氧化碳分离方法尤其意在从替代烟道气进料混合物的天然气进料混合物中分离二氧化碳。在这样的实施例中,所述天然气进

料混合物可以包括至少甲烷和二氧化碳组分,还可以包括硫化氢或其他污染物。这样的从天然气分离二氧化碳的TSA方法可以特别适于从污染的天然气进料混合物中移除二氧化碳和/或硫化氢的至少一部分,其可能在页岩气、低浓度天然气田或者天然气源的井寿命末期遇到。在这些情形,所述的TSA二氧化碳分离方法可以相对类似于用于烟道气分离的方法,将烟道气替换为天然气进料流。任何适当的吸附材料可以包含在所述吸附分离系统的吸附剂接触器内,其可以相对其他天然气组分理想地选择性吸附二氧化碳和/或硫化氢,优选在循环的TSA方法中相对甲烷理想地动态选择性(包括平衡和/或动力学选择性)吸附二氧化碳和/或硫化氢(或者其他不理想的稀薄组分)。在一个特定实施例中,所述适当的二氧化碳选择性吸附材料可以理想地定制为相对甲烷对二氧化碳有高的动态选择性。因此可以选择这种理想的、高动态选择性的二氧化碳吸附剂,以通过选择带这种性能的吸附剂或者定制所述平行通道式接触器的性能和/或改变包括在所述平行通道式接触器内的吸附材料的表面特性,例如通过改变所述吸附材料的孔的大小、孔隙通道、口袋尺寸等,来提高二氧化碳的平衡和或动力学选择性,以在循环的TSA方法中将二氧化碳相对甲烷的平衡和动力学选择性最大化。而且,这种天然气二氧化碳分离方法通常可以在等压的超大气压条件下进行,所述超大气压条件与加压的天然气进料混合物源诸如井和/或管路相关。

[0066] 在此描述的示例性实施例并不意在穷举或将本发明的范围限制在所公开的正确形式。它们选来描述以解释本发明的原理、应用和实际使用,以允许本领域技术人员理解其教导。

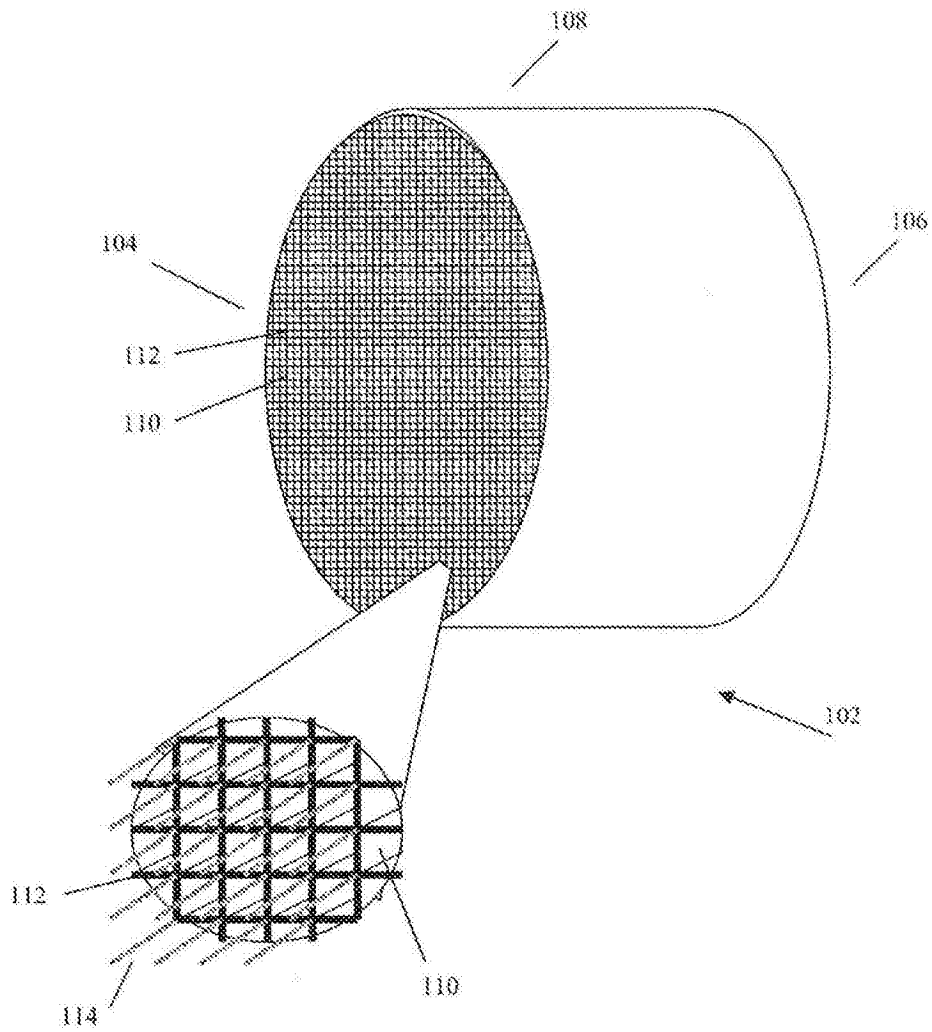


图1

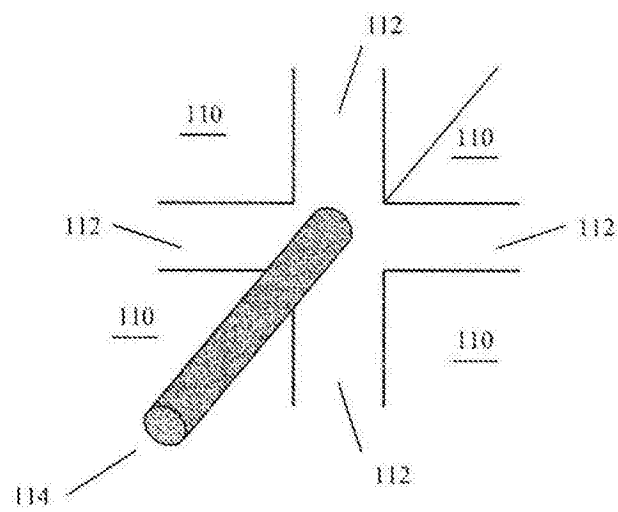


图2

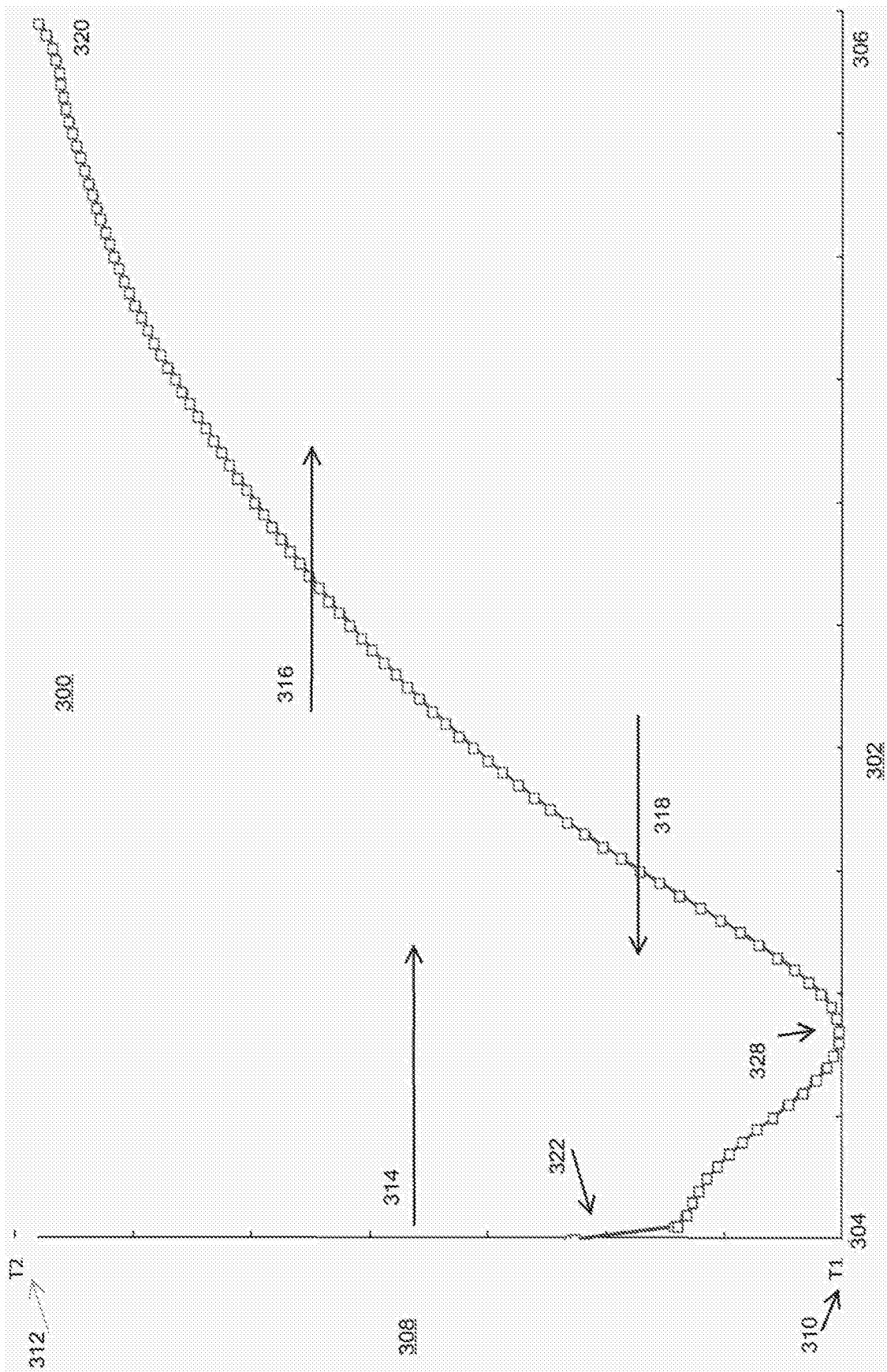


图3

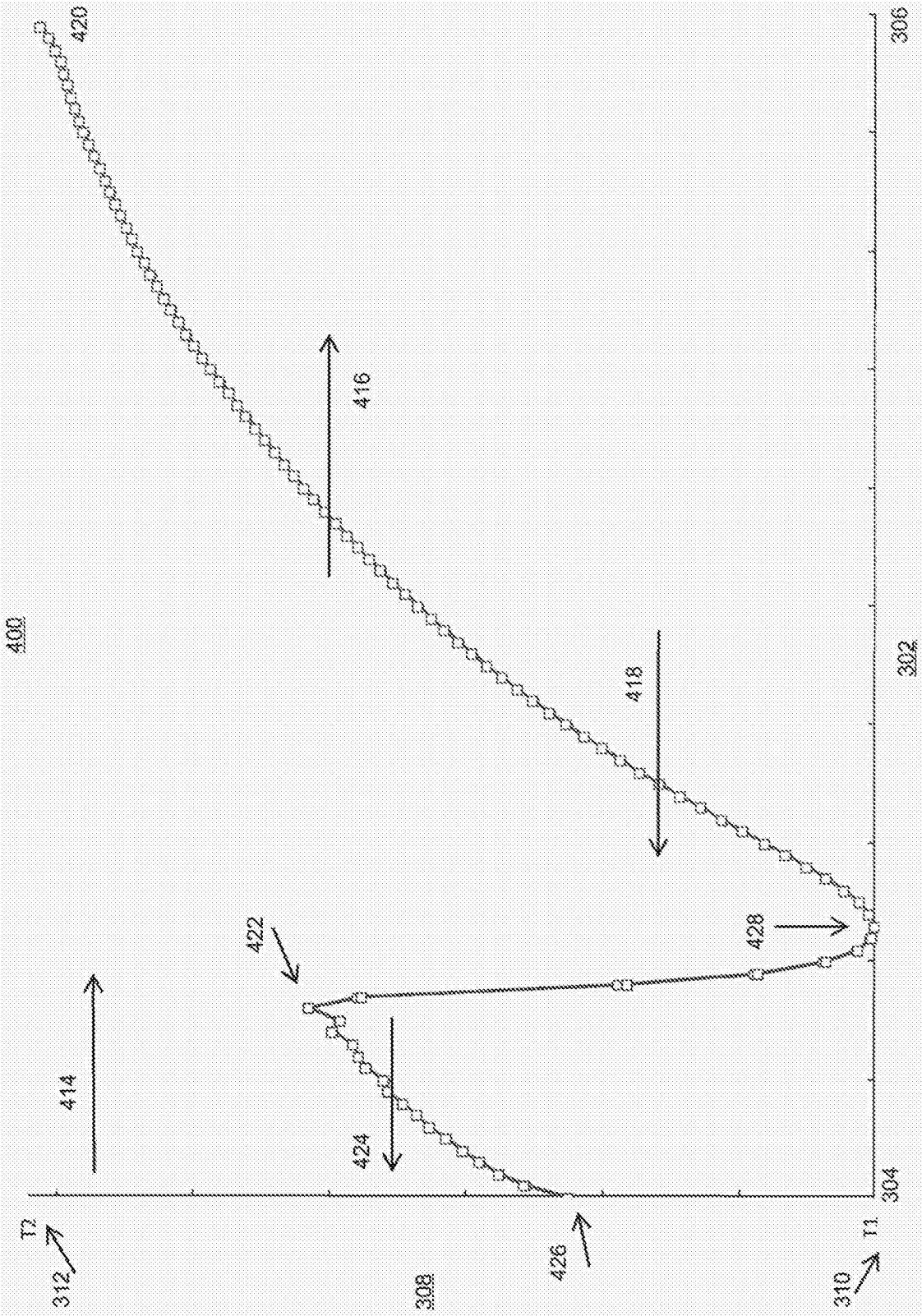


图4

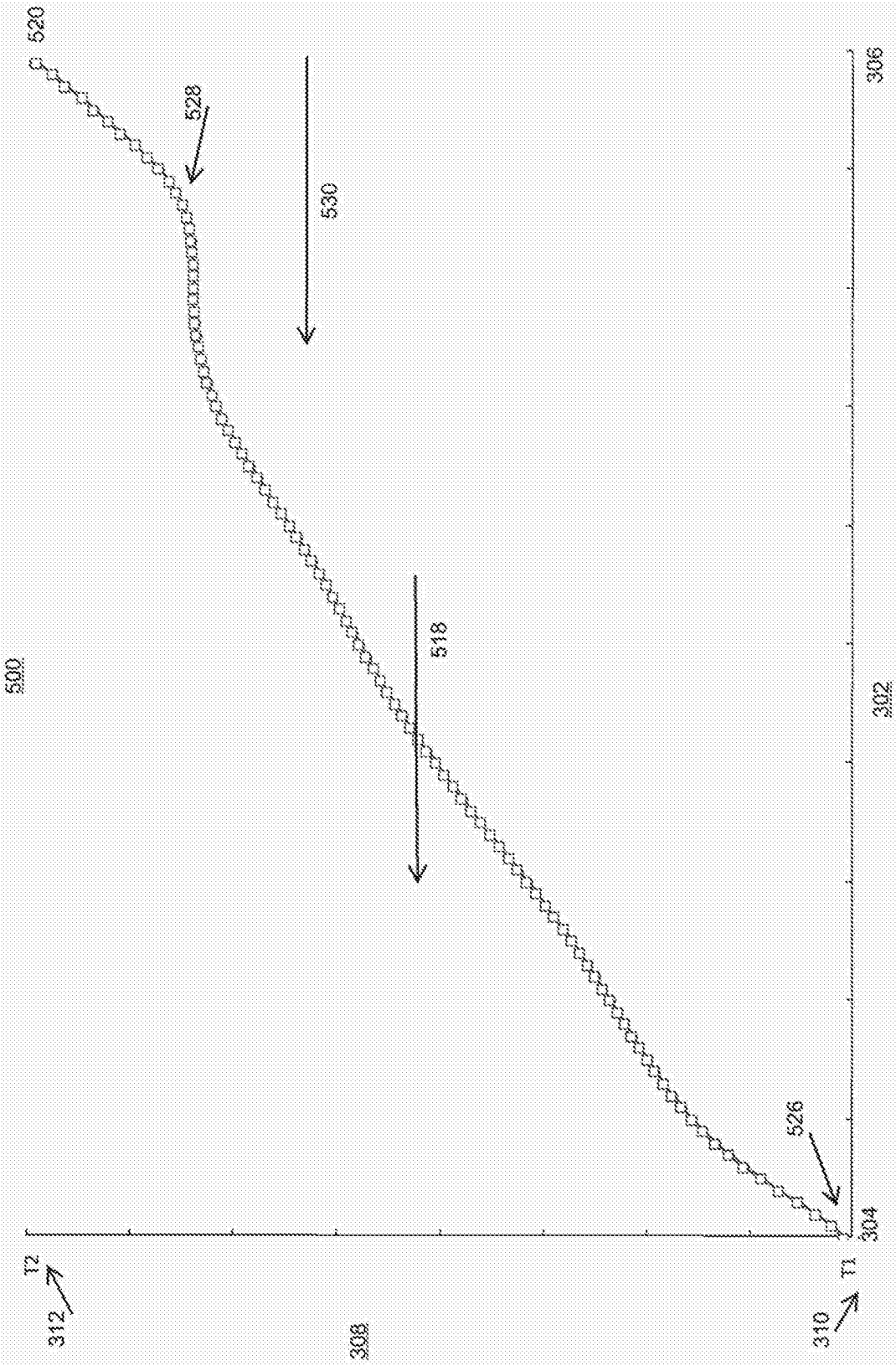


图5

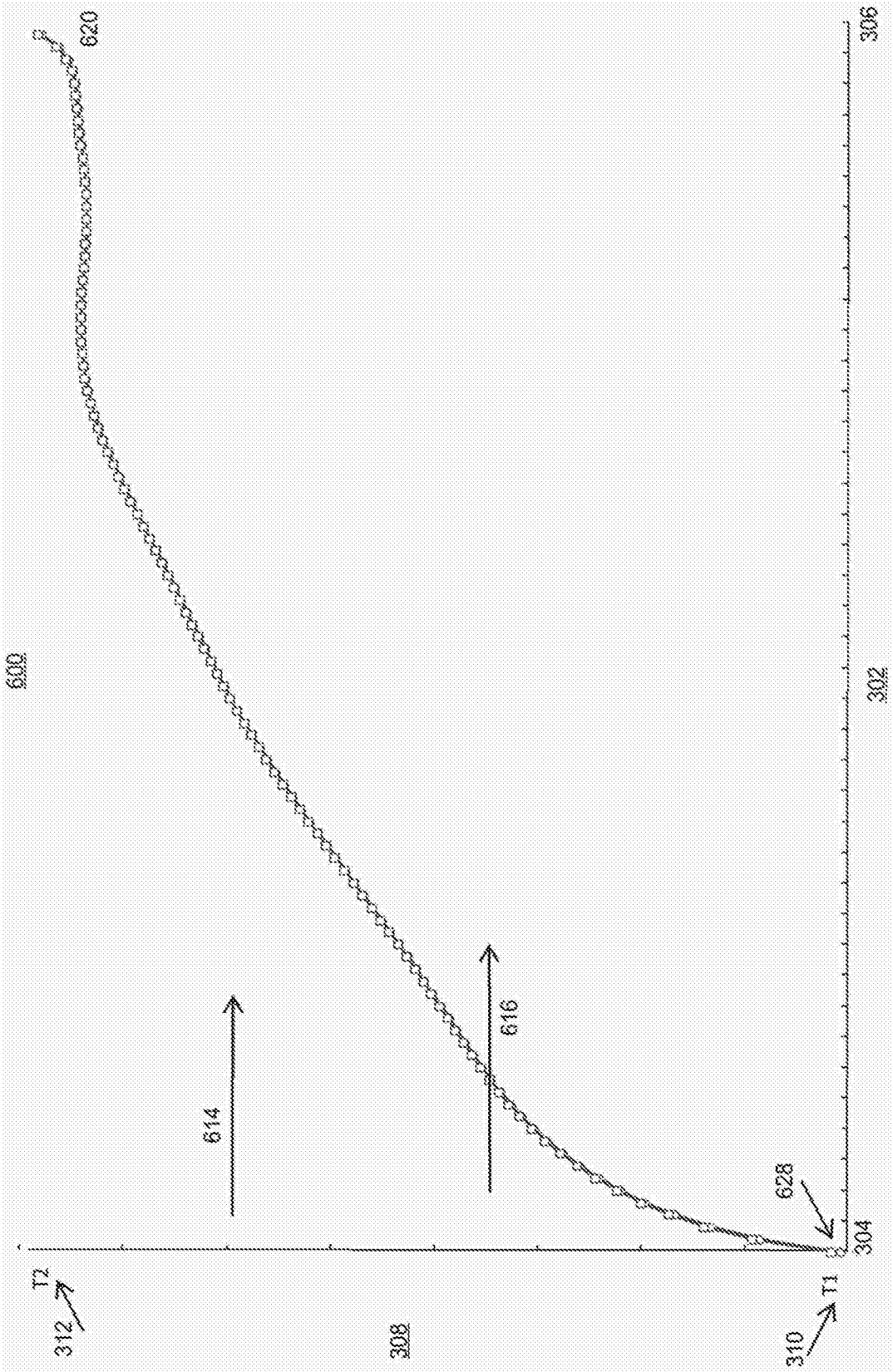


图6