



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104853831 B

(45)授权公告日 2017. 11. 21

(21)申请号 201480003465.0

(22)申请日 2014.01.07

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104853831 A

(43)申请公布日 2015.08.19

(30)优先权数据
13/770,146 2013.02.19 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2015.06.11

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2014/010523 2014.01.07

(87)PCT国际申请的公布数据
W02014/130166 EN 2014.08.28

(73)专利权人 波音公司
地址 美国伊利诺斯州

(72)发明人 T·Q·曹

(74)专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127

代理人 王小东

(51)Int.Cl.
B01D 53/22(2006.01)

(56)对比文件
US 2004226438 A1, 2004.11.18,
US 5294345 A, 1994.03.15,
CN 1109796 A, 1995.10.11,
JP H06134246 A, 1994.05.17,
CN 2333438 Y, 1999.08.18,
US 2002162451 A1, 2002.11.07,

审查员 李秀帆

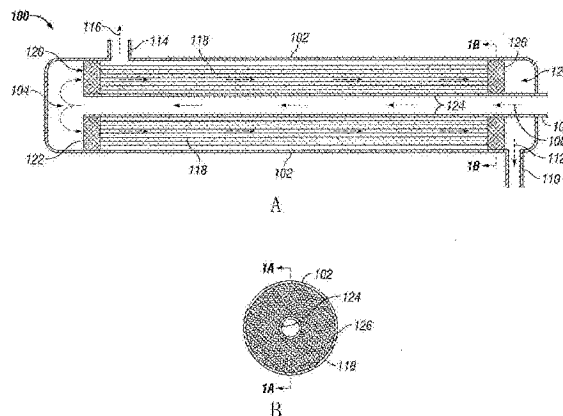
权利要求书3页 说明书10页 附图10页

(54)发明名称

逆流气体分离模块和方法

(57)摘要

气体分离方法包括:使气体进料沿着馈送流路流动,所述馈送流路位于壳体内并且从气体分离膜的产出端向馈送端取向。在所述馈送流路之后,使所述气体进料沿着膜流路流动,所述膜流路从所述馈送端到所述产出端由所述膜限定。所述馈送流路与所述膜流路相逆。热量可在所述馈送流路和所述膜流路之间交换,并且提高了分离效率。另外,交换的热量可补偿由于气体分离的热焓所造成的所述膜的一些温度下降。气体分离模块包括位于壳体内部的馈送流路,所述馈送流路在从膜的产出端到馈送端的方向上延伸。所述馈送流路与由所述膜限定的膜流路相逆。



1. 一种气体分离模块(100,200,300,400),所述气体分离模块包括:

壳体(102,232,332,402),所述壳体具有使气体进料能够进入的馈送端口(106,206,306a,406)、使渗透物能够排出的渗透端口(114,214,314,414)、以及使滞留物能够排出的滞留端口(110,210,310,410);

位于所述壳体内的气体分离膜,所述气体分离膜具有馈送端和产出端,在所述馈送端和所述产出端之间具有滞留内侧和渗透外侧;以及

位于所述壳体内的馈送流路,所述馈送流路在从所述气体分离膜的所述产出端到所述馈送端的方向上延伸并被隔离成不与所述渗透外侧接触,所述馈送流路与膜流路相逆,所述膜流路由所述气体分离膜限定并且从所述气体分离膜的所述馈送端延伸到所述产出端,使得能够与所述滞留内侧接触;

其中,所述气体分离模块是飞行器油箱可燃性还原系统包括的空气分离模块,第一气体包括氧气,第二气体包括氮气,所述飞行器油箱可燃性还原系统进一步包括:

空气源(706),所述空气源通向所述馈送端口;以及

飞行器机载的油箱(704),所述飞行器机载的油箱用于接收包含富氮空气(712)的所述滞留物;以及

所述气体分离模块被构造成选择一个或多个工艺条件,结果,补偿由于气体分离的热焓所造成的所述气体分离膜中的温度下降的至少一部分,以建立所述气体分离膜的所述产出端的温度,该温度在所述气体分离膜的所述馈送端的温度的10°F之内。

2. 根据权利要求1所述的模块(100,200,300,400),其中,与所述膜流路相逆的所述馈送流路使得能够在所述馈送流路和所述膜流路之间进行热交换。

3. 根据权利要求1所述的模块(100,200,300,400),其中,所述壳体(102,232,332,402)包括选自由下述端口组成的组的至少一个附加的端口:附加的馈送端口、附加的渗透端口和附加的滞留端口。

4. 根据前述权利要求1至3中任一项所述的模块(100,200,300,400),其中,所述壳体包括内壳(202,302)和外壳,所述气体分离膜位于所述内壳内,并且位于所述内壳和所述外壳之间的通道限定所述馈送流路的至少一部分。

5. 根据权利要求4所述的模块(100,200,300,400),其中,所述通道具有与所述馈送端口流体连通的第一端以及与所述气体分离膜的所述馈送端流体连通的第二端,所述内壳将所述馈送流路隔离成不与所述气体分离膜的所述渗透外侧接触。

6. 根据前述权利要求1至3中任一项所述的模块(100,200,300,400),其中,所述馈送流路或所述膜流路或这两者包括多个分离的流路。

7. 根据前述权利要求1至3中任一项所述的模块(100,200,300,400),其中,所述馈送流路由用于所述气体分离膜的至少一个支撑件(124,224,324,424)部分地限定,所述至少一个支撑件选自由中空支撑件和多孔支撑件组成的组。

8. 根据前述权利要求1至3中任一项所述的模块(100,200,300,400),其中,所述气体分离膜包括多个中空纤维膜,并且所述气体分离模块进一步包括:

位于所述壳体内的馈送管板(122,222,322,422),所述馈送管板固定所述多个中空纤维膜的馈送端,并且使得所述气体进料能够和所述多个中空纤维膜的渗透外侧隔离开;以及

位于所述壳体内部的产出管板(126,226,326,426),所述产出管板固定所述多个中空纤维膜的产出端,并且使得所述多个中空纤维膜的所述渗透外侧能够和所述滞留物隔离开。

9.根据权利要求8所述的模块(100,200,300,400),其中,所述馈送流路在所述多个中空纤维膜之中延伸,但被隔离成不与所述渗透外侧接触。

10.根据权利要求9所述的模块(100,200,300,400),其中,所述馈送流路由在所述多个中空纤维膜之中延伸的管道部分地限定,所述管道具有由所述产出管板固定的第一端,并且所述管道具有由所述馈送管板固定的第二端,所述第一端与所述馈送端口流体连通,所述管道将所述馈送流路隔离成不与所述多个中空纤维膜的所述渗透外侧接触,并且所述第二端与所述多个中空纤维膜的所述馈送端流体连通。

11.一种气体分离方法,所述方法包括:

使用气体分离模块(100,200,300,400),所述气体分离模块包括壳体(102,232,332,402)和位于所述壳体内的气体分离膜,所述气体分离膜具有馈送端和产出端,在所述馈送端和所述产出端之间具有滞留内侧和渗透外侧;

把气体进料供给到所述壳体中,所述气体进料包含第一气体和不同的第二气体;

使所述气体进料沿着馈送流路流动,所述馈送流路位于所述壳体内并且从所述气体分离膜的所述产出端向所述馈送端取向,所述气体进料被隔离成不与所述渗透外侧接触;

在所述馈送流路之后,使所述气体进料沿着膜流路流动,所述膜流路由所述气体分离膜限定并且从所述气体分离膜的所述馈送端延伸到所述产出端,所述馈送流路与所述膜流路相逆;以及

使所述滞留内侧与所述膜流路中的所述气体进料接触,使来自所述气体进料的所述第一气体中的至少一些气体渗透过所述气体分离膜而到达所述渗透外侧,并且产生滞留物,由于去除了来自所述气体进料的所述第一气体中的至少一些气体,所述滞留物富集在所述第二气体中,

其中,所述气体分离模块是飞行器油箱可燃性还原系统包括的空气分离模块,所述气体进料包括空气进料,所述第一气体包括氧气,所述第二气体包括氮气,并且所述方法进一步包括:

把包含富氮空气(712)的所述滞留物供给到用于飞行器的油箱(704)中;

提供用于所述气体分离模块的构造,选择一个或多个工艺条件,结果,补偿由于气体分离的热焓所造成的所述气体分离膜中的温度下降的至少一部分;以及

建立所述气体分离膜的所述产出端的温度,该温度在所述气体分离膜的所述馈送端的温度的10°F之内。

12.根据权利要求11所述的方法,所述方法进一步包括:通过使所述馈送流路与所述膜流路相逆而使得能够在所述馈送流路和所述膜流路之间进行热交换,结果,提高了所述气体分离模块的分离效率。

13.根据权利要求11或12所述的方法,其中,所述壳体包括内壳(202,302)和外壳,所述气体分离膜位于所述内壳内,并且使所述气体进料沿着馈送流路流动的步骤包括:使所述气体进料沿着所述内壳和所述外壳之间的通道流动。

14.根据权利要求13所述的方法,其中,使所述气体进料沿着馈送流路流动的步骤或者使所述气体进料沿着膜流路流动的步骤或者这两个步骤包括:使所述气体进料沿着多个分

离的流路流动。

15. 根据权利要求11或12所述的方法, 其中, 所述气体分离膜包括多个中空纤维膜, 所述气体分离模块包括: 位于所述壳体内部的馈送管板, 所述馈送管板固定所述多个中空纤维膜的馈送端; 以及位于所述壳体内部的产出管板, 所述产出管板固定所述多个中空纤维膜的产出端, 并且所述方法进一步包括:

使所述气体进料和所述多个中空纤维膜的渗透外侧与所述馈送管板隔离开; 以及
使所述多个中空纤维膜的所述渗透外侧和所述滞留物与所述产出管板隔离开。

16. 根据权利要求15所述的方法, 其中所述馈送流路在所述多个中空纤维膜之中延伸, 并且所述方法进一步包括: 将所述馈送流路隔离成不与所述渗透外侧接触。

逆流气体分离模块和方法

技术领域

[0001] 本文中的装置和方法涉及气体分离模块,包括飞行器油箱可燃性还原系统 (aircraft fuel tank flammability reduction system) 中的模块。

背景技术

[0002] 已知的空气分离模块 (ASM) 被发现于飞行器油箱可燃性还原系统中。ASM 将一些氧气从空气中去除,以生成富氮空气 (NEA),富氮空气然后流入油箱空容积,即油箱中常常包含蒸发的燃料 (诸如,燃料蒸汽) 的区域。NEA 可减少油箱空容积的可燃性。美国联邦航空管理局 (FAA) 规章要求,新型的和服役的运输飞行器应包括用于增强飞行器油箱的安全性的系统。可惜,ASM 给飞行器增加了重量。因此,空气分离模块的减重是期望的。

发明内容

[0003] 一种气体分离方法包括:使用气体分离模块,所述气体分离模块包括壳体和位于所述壳体内的气体分离膜。所述气体分离膜具有馈送端和产出端,在所述馈送端和所述产出端之间具有滞留内侧和渗透外侧。所述方法包括:把气体进料供给到所述壳体中,所述气体进料包含第一气体和不同的第二气体。使所述气体进料沿着馈送流路流动,所述馈送流路位于所述壳体内并且从所述气体分离膜的所述产出端向所述馈送端取向,所述气体进料被隔离成不与所述渗透外侧接触。

[0004] 在所述馈送流路之后,使所述气体进料沿着膜流路流动,所述膜流路由所述气体分离膜限定并且从所述气体分离膜的所述馈送端延伸到所述产出端。所述馈送流路与所述膜流路相逆。所述方法还包括:使所述滞留内侧与所述膜流路中的所述气体进料接触;使来自所述气体进料的所述第一气体中的至少一些气体渗透过所述气体分离膜而到达所述渗透外侧;以及产生滞留物,由于去除了来自所述气体进料的所述第一气体中的至少一些气体,所述滞留物富集在所述第二气体中。

[0005] 以举例的方式,所述方法可包括:通过使所述馈送流路与所述膜流路相逆而使得能够在所述馈送流路和所述膜流路之间进行热交换,结果,提高了所述气体分离模块的分离效率。所述方法可进一步包括:提供用于所述气体分离模块的构造,选择一个或多个工艺条件,结果,补偿由于气体分离的热焓所造成的所述气体分离膜中的温度下降的至少一部分。所述气体分离膜的所述产出端的温度可建立在所述气体分离膜的所述馈送端的温度的 10°F 之内。

[0006] 一种气体分离模块包括壳体,所述壳体具有使气体进料能够进入的馈送端口、使渗透物能够排出的渗透端口、以及使滞留物能够排出的滞留端口。所述模块包括位于所述壳体内的气体分离膜,所述气体分离膜具有馈送端和产出端,在所述馈送端和所述产出端之间具有滞留内侧和渗透外侧。馈送流路位于所述壳体内,并且在从所述气体分离膜的所述产出端到所述馈送端的方向上延伸并被隔离成不与所述渗透外侧接触。所述馈送流路与膜流路相逆,所述膜流路由所述气体分离膜限定并且从所述气体分离膜的所述馈送端延伸

到所述产出端,使得能够与所述滞留内侧接触。

[0007] 已经讨论的特征、功能和优点可以在各种实施方式中独立地实现或者可在其它实施方式中进行组合,可以参考以下描述和附图来查看其进一步细节。

附图说明

[0008] 下面参考以下附图来描述一些装置和方法。

[0009] 图1A至图4C是根据若干构造的逆馈送气体分离模块的横截面图。

[0010] 图5和图6分别是现有技术气体分离模块的等距和近距离视图。

[0011] 图7示出了油箱可燃性还原系统。

具体实施方式

[0012] 一些已知的气体分离模块使用中空纤维膜(HFM)。HFM可包括:可渗透的纤维壁;多孔材料,所述多孔材料支撑薄膜或外皮,由在气体分离过程中提供选择性的不同材料构成。这样的HFM被称为复合膜,由所包括的不同材料给定。并非复合材料的HFM可包括使用与多孔支撑件相同的材料的外皮,并且可称为非对称膜,横跨HFM厚度给定了变化的传输特性。虽然气体分离工艺聚焦于中空纤维膜,但其它类型的气体分离膜可以用在本文的装置和方法中。

[0013] 在操作气体分离模块期间,气体进料进入纤维的馈送端,并且所选择的气体扩散穿过纤维壁而产生渗透物。所保留的气体继续沿中空纤维下行至产出端,并且作为滞留物离开。中空纤维膜的两端可用树脂灌封,以使纤维固定。在使气体进料和滞留物与渗透物隔离的每一端,固定纤维端的被灌封的树脂形成了管板(tubesheet)。纤维和管板的组合形成了可插入壳中以形成模块的元件。有些可将该元件称为“筒”,并且将壳称为“罐(canister)”。然而,在本文件中,“元件”和“壳”的意义并不限于各自“筒”和“罐”的普通意义。一般而言,灌封的树脂形成了插头,该插头具有围绕安装在管形壳内的各自纤维端的圆形周界。即便如此,针对管板和壳,本文中的构造也包括另外的几何形状。

[0014] 对于使用气体分离模块的一些应用,诸如油箱可燃性还原系统,可在升高的温度下供给气体进料。对于氧气与空气的分离,以及其它气体对,随着气体进料的温度的提高,分离效率可提高。有利的是,容易获得的气体源可以供给作为未涉及工艺副产品的受热气体。在飞行器中,发动机引气是进入空气分离模块的气体进料的已知源,并且常常以160°F至300°F到达空气分离模块。

[0015] 图5和图6示出了已知的气体分离模块500,其包括壳502,元件520安装在壳502中。馈送端口506允许气体进料508进入以接触管板522,并且进入围绕支撑件524组装的纤维518。围绕管板522的板缘504被设置为将管板522密封在壳502内。因此,气体进料508流入单根纤维518(图6中示出),以产生渗透物516,渗透物516穿过单根纤维518的壁。滞留物512在另一管板(图5中未示出)处离开单根纤维518并且流过滞留端口510。来自每根纤维518的渗透物516收集于管板522和另一管板之间并且流过渗透端口514。

[0016] 随着气体进料508从管板522到另一管板(未示出)流向下游,沿着图5和图6示出的已知流式设计中的纤维518的温度降低。温度分布可取决于气体进料508从管板522到另一管板的流量,并且可降至50°F,或者甚至70°F。冷却可能部分是由于与一种气体关联的气体

分离的热焓, 这一种气体优先渗透过纤维518的膜, 以产生渗透物516和滞留物512。另外, 冷却可能部分是由于随着气体进料508从纤维518的长度流下的压降。因为穿过膜的气体分离的效率随着温度降低而降低, 沿着纤维518降低的温度分布同样沿着纤维518减少了分离效率, 使分离效率产生相关的降低分布。

[0017] 期望的分离效率代表了为气体分离模块定大小的一个因素。随着分离效率的降低, 模块大小以及由此的模块重量可提高, 以提供适量的滞留物流动, 而不管降低的效率。因此, 降低气体分离模块重量的机会存在于提高分离效率方面。通过建立没有如上述显著下降的沿着纤维518的温度分布, 可提高由气体分离模块产生的滞留物的量。当温度下降减少时, 也就是说, 如果另一管板(未示出)下游的温度提高至更接近管板522处的温度, 则可提高气体分离模块的整体分离效率。

[0018] 一种提高气体分离效率的可能性包括: 在气体进料和气体分离膜之间进行热交换。气体分离方法包括: 使用气体分离模块, 所述气体分离模块包括壳体和位于所述壳体内的气体分离膜。所述气体分离膜具有馈送端和产出端, 在所述馈送端和所述产出端之间具有滞留内侧和渗透外侧。所述方法包括: 把气体进料供给到所述壳体中, 所述气体进料包含第一气体和不同的第二气体。使所述气体进料沿着所述壳体内的馈送流路在从所述气体分离膜的所述产出端向所述馈送端的方向上流动。将所述气体进料隔离成不与所述渗透外侧接触。

[0019] 在所述馈送流路之后, 使所述气体进料沿着由所述气体分离膜限定的膜流路从所述气体分离膜的所述馈送端流动到所述产出端。所述馈送流路与所述膜流路相逆。所述方法还包括: 使所述滞留内侧与所述膜流路中的所述气体进料接触, 使来自所述气体进料的所述第一气体中的至少一些气体渗透过所述气体分离膜而到达所述渗透外侧, 并且产生滞留物, 由于去除了来自所述气体进料的所述第一气体中的至少一些气体, 所述滞留物富集在所述第二气体中。

[0020] 以举例的方式, 所述气体分离模块可以是飞行器油箱可燃性还原系统包括的空气分离模块。所述气体进料则是空气进料, 所述第一气体是氧气, 并且所述第二气体是氮气。因此, 所述方法可进一步包括: 把包含富氮空气的所述滞留物供给到飞行器机载的油箱中。

[0021] 所述方法可进一步包括: 通过使所述馈送流路与所述膜流路相逆而使得能够在所述馈送流路和所述膜流路之间进行热交换。在热流体和冷流体之间进行逆流热传递以提高热交换效率的概念和益处逆流热交换器的背景中是已知的。然而, 在逆流热交换器中, 诸如在壳-管热交换器中, 使热流体接触包含不同冷流体的管以加热所述冷流体。

[0022] 相反, 本方法包括热流体(气体进料), 所述热流体使下游的位于所述气体分离模块内的相同流体流加热, 以抵消通过处理所述模块内而导致的内部冷却。另外, 相反, 所述气体进料被隔离成不与所述气体分离膜的所述渗透外侧接触。因此, 所述热流体(气体进料)不接触包含所述冷流体的管(气体分离膜)。

[0023] 所述方法可包括: 建立所述气体分离膜的所述产出端的温度, 该温度在所述气体分离膜的所述馈送端的温度的 10°F 之内。随着流量的提高, 所述产出端温度可提高至更接近所述馈送端温度。因此, 所述方法可包括: 提供用于所述气体分离模块的构造, 选择一个或多个工艺条件(诸如流量), 结果, 补偿由于气体分离的热焓所造成的所述气体分离膜的温度下降的至少一部分。

[0024] 针对宽广范围的气体进料流量,使用与所述膜流路相逆的所述馈送流路可使所述产出端温度上升。在较低的流量下,尽管产出端温度可提高,与较高流量下的温度分布比较,沿着所述膜的温度分布可能不太均匀。较低的流量可允许紧随在所述产出端的温度上升之后所述馈送端和所述产出端之间更大的温度下降。较高的流量可允许所述馈送端和所述产出端之间更小的温度下降,提高了温度均匀性。因为提高的温度可沿着多个膜建立,所以在较高的流量下分离效率可进一步提高。

[0025] 所述壳体可包括内壳和外壳,所述气体分离膜可位于所述内壳内,并且使所述气体进料沿着所述馈送流路流动可包括:使所述气体进料沿着所述内壳和所述外壳之间的通道流动。使所述气体进料沿着所述馈送流路流动或者使所述气体进料沿着所述膜流路流动或者这两者可包括:使所述气体进料沿着多个分离的流路流动。

[0026] 所述气体分离膜可包括多个中空纤维膜;所述气体分离模块可包括:位于所述壳体内部的馈送管板,所述馈送管板固定所述纤维的所述馈送端;以及位于所述壳体内部的产出管板,所述产出管板固定所述纤维的所述产出端。结果,所述方法可进一步包括:使所述气体进料和所述纤维的所述渗透外侧与所述馈送管板隔离开;以及使所述纤维的所述渗透外侧和所述滞留物与所述产出管板隔离开。另外,所述馈送流路可在所述纤维之中延伸,并且所述方法可进一步包括:将所述馈送流路隔离成不与所述渗透外侧接触。

[0027] 图1A和图1B示出了气体分离模块100,其可用于实施本文中描述的方法。气体分离模块100包括壳102,壳102具有使得气体进料108能够进入的馈送端口106。气体进料108流过支撑件124,支撑件124从产出管板126延伸到馈送管板122。气体进料108流入与馈送管板122关联的头104。气体进料108然后在馈送管板122处流入纤维118的馈送端。气体分离模块100由此在纤维118之中提供了馈送流路,该馈送流路借助于支撑件124而与纤维118的渗透侧隔离开。

[0028] 纤维118以及管板122和126组合地形成了位于壳102内的元件120。气体进料108的选定气体经由纤维118而流过元件120,并且渗透过纤维118而产生渗透物116。渗透物116收集于馈送管板122和产出管板126之间,并且经由渗透端口114离开。保留在纤维118中的气体在产出管板126处流出纤维118的产出端,并且进入头128而提供滞留物112,滞留物112经由滞留端口110离开。

[0029] 应当理解的是,气体分离模块100还提供了膜流路,该膜流路由纤维118限定并且从该纤维的馈送端延伸到产出端。因此,图1A示出了与膜流路相逆的馈送流路。流过气体分离模块100的气体的相逆的馈送布置使得能够在馈送流路和膜流路之间进行热交换。结果,纤维118的产出端温度可提高至更接近纤维118的馈送端温度的温度。与图5和图6示出的已知流式设计的温度下降比较,沿着纤维118的温度下降可减少。当温度下降得以减少时,气体分离模块100的整体分离效率可提高。另外,取决于气体进料108流量,元件120内的温度分布可具有提高的均匀性,并且进一步提高了分离效率。

[0030] 图2A和图2B示出了气体分离模块200,其也可用于实施本文中描述的方法。气体分离模块200包括壳232,壳232具有使得气体进料208能够进入的馈送端口206。气体进料208在壳232内围绕壳202流动,并且流入壳232和壳202之间的通道230。间隔器236(图2B)将壳202支撑在壳232内,并且可延伸壳202的长度或其一部分长度。在流下通道230之后,气体进料208流入与馈送管板222关联的头204。气体进料208然后在馈送管板222处流入纤维218的

馈送端。

[0031] 支撑件224设置在元件220中,元件220包括馈送管板222、产出管板226以及在其间延伸的纤维218。气体分离模块200由此提供了馈送流路,该馈送流路借助于壳202而与纤维218的渗透侧隔离开。尽管支撑件224是中空的,插头234被插入馈送管板222和产出管板226,以防止气体流过支撑件224。支撑件224的中空性质可减少气体分离模块200的重量。

[0032] 气体进料208的选定气体经由纤维218而流过元件220,并且渗透过纤维218而产生渗透物216。渗透物216收集于馈送管板222和产出管板226之间,并且经由渗透端口214离开。保留在纤维218中的气体在产出管板226处流出纤维218的产出端,并且收集于头228中而提供滞留物212,滞留物212经由滞留端口210离开。应当理解的是,气体分离模块200还提供了膜流路,该膜流路由纤维218限定并且从该纤维的馈送端延伸到产出端。因此,图2A示出了与膜流路相逆的馈送流路。相逆的馈送布置使得能够在馈送流路和膜流路之间进行热交换。

[0033] 结果,纤维218的产出端温度可提高至更接近纤维218的馈送端温度的温度。与图5和图6示出的已知流式设计的温度下降比较,沿着纤维218的温度下降可减少。当温度下降得以减少时,气体分离模块200的整体分离效率可提高。另外,取决于气体进料208流量,元件220内的温度分布可具有提高的均匀性,并且进一步提高了分离效率。

[0034] 图3A和图3B示出了气体分离模块300,其组合了气体分离模块100和200的特征。图3A和图3B中的气体分离模块300也可用于实施本文中描述的方法。气体分离模块300包括壳332,壳332具有使得气体进料308能够进入的馈送端口306a。气体进料308在壳332内围绕壳302流动,并且流入壳332和壳302之间的通道330。间隔器336(图3B)将壳302支撑在壳332内,并且可延伸壳302的长度或其一部分长度。在流下通道330之后,气体进料308流入与馈送管板322关联的头304。气体进料308然后在馈送管板322处流入纤维318的馈送端。气体分离模块300还包括使得气体进料308能够进入支撑件324的馈送端口306b,支撑件324从产出管板326延伸到馈送管板322。支撑件324还与馈送端口306b连接,或者一体地包括馈送端口306b,用于接收流入头304的气体进料308。

[0035] 元件320包括馈送管板322、产出管板326、支撑件324以及纤维318。气体分离模块300由此提供了馈送流路,该馈送流路借助于壳302而与纤维318的渗透侧隔离开。气体分离模块300还提供了位于纤维318之中的馈送流路,该馈送流路借助于支撑件324而与纤维318的渗透侧隔离开。

[0036] 气体进料308的选定气体经由纤维318而流过元件320,并且渗透过纤维318而产生渗透物316。渗透物316收集于馈送管板322和产出管板326之间,并且经由渗透端口314离开。保留在纤维318中的气体在产出管板326处流出纤维318的产出端,并且收集在头328中而提供滞留物312,滞留物312经由滞留端口310离开。应当理解的是,气体分离模块300还提供了膜流路,该膜流路由纤维318限定并且从这样的纤维的馈送端延伸到产出端。因此,图3A示出了与膜流路相逆的馈送流路。相逆的馈送布置使得能够在馈送流路和膜流路之间进行热交换。

[0037] 结果,纤维318的产出端可提高至更接近纤维318的馈送端温度的温度。与图5和图6示出的已知流式设计的温度下降比较,沿着纤维318的温度下降可减少。当温度下降得以减少时,气体分离模块300的整体分离效率可提高。另外,取决于气体进料308流量,元件320

内的温度分布可具有提高的均匀性,并且进一步提高了分离效率。

[0038] 图4A、图4B和图4C示出了气体分离模块400,其可用于实施本文中描述的方法。气体分离模块400包括壳402,壳402具有使得气体进料408能够在壳402和内壁436之间进入头438的馈送端口406。气体进料408流过支撑件424,支撑件424从产出管板426延伸到馈送管板422。支撑件424还延伸过壁436以接收气体进料408,气体进料408从头438流入与馈送管板422关联的头404。气体进料408然后在馈送管板422处流入纤维418的馈送端。气体分离模块400由此提供了位于纤维418之中的馈送流路,该馈送流路借助于支撑件424而与纤维418的渗透侧隔离开。

[0039] 除了支撑件424,气体分离模块400进一步包括管道444。气体进料408流过管道444,管道444从产出管板426延伸到馈送管板422。管道444还延伸过壁436以接收气体进料408,气体进料408从头438流入头404。气体进料408然后流入纤维418的馈送端。气体分离模块400由此提供了位于纤维418之中的附加的馈送流路,该附加的馈送流路借助于管道444而与纤维418的渗透侧隔离开。

[0040] 纤维418以及管板422和426组合地形成了位于壳402内的元件420。气体进料408的选定气体经由纤维418而流过元件420,并且渗透过纤维418而产生渗透物416。渗透物416收集于馈送管板422和产出管板426之间,并且经由渗透端口414离开。保留在纤维418中的气体在产出管板426处流出纤维418的产出端,并且流入产出管板426和壁436之间的头428以提供滞留物412,滞留物412经由滞留端口410离开。

[0041] 应当理解的是,气体分离模块400还提供了膜流路,该膜流路由纤维418限定并且从该纤维的馈送端延伸到产出端。因此,图4A和图4B示出了与膜流路相逆的馈送流路。流过气体分离模块400的气体的相逆的馈送布置使得能够在馈送流路和膜流路之间进行热交换。结果,纤维418的产出端可提高至更接近纤维418的馈送端温度的温度。与图5和图6示出的已知流式设计的温度下降比较,沿着纤维418的温度下降可减少。当温度下降得以减少时,气体分离模块400的整体分离效率可提高。另外,取决于气体进料408流量,元件420内的温度分布可具有提高的均匀性,并且进一步提高了分离效率。

[0042] 管道444为V形,但其它几何形状是可以想象的。图4C示出的四个管道444中的每个管道在产出管板426的周界均可具有弧长,该弧长拥有管板周长的约2%,共计为周长的8%。考虑到热传递面积,管道444可从管板422和426的半径的多于二分之一延伸到约三分之二。通过围绕支撑件424使管道444隔开,气体进料408的热量可更有效地分布在纤维418之中。由于用管道444替代了一些纤维418,针对气体分离模块的设计可能引起流过元件420的流动损失。流动损失可平衡掉由于纤维418的产出端的温度提高使分离效率提高而引起的滞留物产生的增益。

[0043] 用于形成气体分离模块的已知技术可包括:把纤维材料缠绕到支撑件上。把纤维材料缠绕到支撑件上的已知技术包括螺旋和对角线缠绕,可用来通过另外把纤维材料缠绕到管道上或者留下可插入管道的空间来容纳任何管道。作为直式缠绕的替代,并非对角线或螺旋缠绕,缝隙可加工到馈送件以及在纤维之中插入缝隙中的产出管板和管道中。虽然纤维材料常常缠绕到支撑件上,但存在的已知模块设计并不包括支撑件。不过,通过在管板中加工出空间或者使用其它技术留下空间,可稍后插入管道。

[0044] 提供馈送流路的支撑件124、324和424、管道444以及通道230和330在图中被示出

为中空的。然而,它们可另外部分或完全填充有允许气体流过多孔材料的多孔材料。多孔材料可为支撑件、管道和通道提供结构支撑。可使用低密度开孔的金属泡沫。低密度泡沫的示例包括具有少于15磅/立方英尺($1\text{b}/\text{ft}^3$)的密度的泡沫,诸如8-15 lb/ft^3 。金属泡沫的示例包括铝泡沫。金属蜂窝可用作多孔材料,并且以最小压力损失提供结构支撑以及增强的热传递。金属蜂窝可具有3-6 lb/ft^3 的密度。

[0045] 应当理解的是,其它气体分离模块可用于实施本文中描述的方法。即使图中的气体分离模块100、200、300和400为圆形横截面,但各自的壳和元件的其它几何形状是可以想象的。因此,气体分离模块包括壳体,所述壳体具有使得气体进料能够进入的馈送端口、使得渗透物能够排出的渗透端口、以及使得滞留物能够排出的滞留端口。所述模块包括位于所述壳体内的气体分离膜,所述气体分离膜具有馈送端和产出端,在所述馈送端和所述产出端之间具有滞留内侧和渗透外侧。馈送流路位于所述壳体内,并且在从所述气体分离膜的所述产出端到所述馈送端的方向上延伸并被隔离成不与所述渗透外侧接触。所述馈送流路与膜流路相逆,所述膜流路由所述气体分离膜限定并且从所述气体分离膜的所述馈送端延伸到所述产出端,使得能够与所述滞留内侧接触。

[0046] 以举例的方式,与所述膜流路相逆的所述馈送流路使得能够在所述馈送流路和所述膜流路之间进行热交换。所述气体分离模块可以是飞行器油箱可燃性还原系统包括的空气分离模块。所述系统可包括:空气源,所述空气源通向所述馈送端口;以及飞行器机载的油箱,该油箱用于接收包含富氮空气的所述滞留物。

[0047] 所述壳体可包括选自由下述端口组成的组的至少一个附加的端口:附加的馈送端口、附加的渗透端口和附加的滞留端口。所述壳体可包括内壳和外壳,所述气体分离膜位于所述内壳内,并且位于所述内壳和所述外壳之间的通道限定所述馈送流路的至少一部分。所述通道可具有与所述馈送端口流体连通的第一端以及与所述气体分离膜的所述馈送端流体连通的第二端,所述内壳将所述馈送流路隔离成不与所述气体分离膜的所述渗透外侧接触。

[0048] 所述馈送流路或所述膜流路或这两者可包括多个分离的流路。所述馈送流路可由用于所述气体分离膜的至少一个支撑件部分地限定,所述至少一个支撑件选自由中空支撑件和多孔支撑件组成的组。

[0049] 所述气体分离膜可包括多个中空纤维膜。所述气体分离模块可进一步包括位于所述壳体内的馈送管板,所述馈送管板固定所述纤维的所述馈送端并且使得所述气体进料能够与所述纤维的所述渗透外侧隔离开。所述气体分离模块仍可进一步包括位于所述壳体内的产出管板,所述产出管板固定所述纤维的所述产出端并且使得所述纤维的所述渗透外侧能够与所述滞留物隔离开。所述馈送流路可在所述纤维之中延伸,但被隔离成不与所述渗透外侧接触。所述馈送流路可由在所述纤维之中延伸的管道部分地限定,所述管道具有由所述产出管板固定的第一端,并且所述管道具有由所述馈送管板固定的第二端。所述第一端可与所述馈送端口流体连通,所述管道将所述馈送流路隔离成不与所述纤维的所述渗透外侧接触,并且所述第二端可与所述纤维的所述馈送端流体连通。所述管道可包括多个分离的管道。

[0050] 图7示出了具有ASM 702的系统700,ASM 702可包括本文中描述的气体分离模块。如图7所示,空气源706可被加压,或者处于环境压力下。即便如此,分离效率常常随着压力

的提高而提高,比如富氮空气的中空纤维膜生产的情况。空气源706为ASM 702提供空气进料710,这产生了渗透物708和富氮空气712。油箱704使得能够接收富氮空气712,以减少油箱空容积的可燃性。ASM 702可提供本文中描述的方法和装置的益处。

[0051] 进一步,本公开包括根据以下条款的实施方式:

[0052] 1、一种气体分离模块,所述气体分离模块包括:

[0053] 壳体,所述壳体具有使气体进料能够进入的馈送端口、使渗透物能够排出的渗透端口、以及使滞留物能够排出的滞留端口;

[0054] 位于所述壳体内的气体分离膜,所述气体分离膜具有馈送端和产出端,在所述馈送端和所述产出端之间具有滞留内侧和渗透外侧;以及

[0055] 位于所述壳体内的馈送流路,所述馈送流路在从所述气体分离膜的所述产出端到所述馈送端的方向上延伸并被隔离成不与所述渗透外侧接触,所述馈送流路与膜流路相逆,所述膜流路由所述气体分离膜限定并且从所述气体分离膜的所述馈送端延伸到所述产出端,使得能够与所述滞留内侧接触。

[0056] 2、根据条款1所述的模块,其中,与所述膜流路相逆的所述馈送流路使得能够在所述馈送流路和所述膜流路之间进行热交换。

[0057] 3、根据条款1所述的模块,其中,所述气体分离模块是飞行器油箱可燃性还原系统包括的空气分离模块,所述飞行器油箱可燃性还原系统进一步包括:

[0058] 空气源,所述空气源通向所述馈送端口;以及

[0059] 飞行器机载的油箱,所述飞行器机载的油箱用于接收包含富氮空气的所述滞留物。

[0060] 4、根据条款1所述的模块,其中,所述壳体包括选自由下述端口组成的组的至少一个附加的端口:附加的馈送端口、附加的渗透端口和附加的滞留端口。

[0061] 5、根据条款1所述的模块,其中,所述壳体包括内壳和外壳,所述气体分离膜位于所述内壳内,并且位于所述内壳和所述外壳之间的通道限定所述馈送流路的至少一部分。

[0062] 6、根据条款5所述的模块,其中,所述通道具有与所述馈送端口流体连通的第一端以及与所述气体分离膜的所述馈送端流体连通的第二端,所述内壳将所述馈送流路隔离成不与所述气体分离膜的所述渗透外侧接触。

[0063] 7、根据条款1所述的模块,其中,所述馈送流路或所述膜流路或这两者包括多个分离的流路。

[0064] 8、根据条款1所述的模块,其中,所述馈送流路由用于所述气体分离膜的至少一个支撑件部分地限定,所述至少一个支撑件选自由中空支撑件和多孔支撑件组成的组。

[0065] 9、根据条款1所述的模块,其中,其中,所述气体分离膜包括多个中空纤维膜,并且所述气体分离模块进一步包括:

[0066] 位于所述壳体内的馈送管板,所述馈送管板固定所述多个中空纤维膜的馈送端,并且使得所述气体进料能够与所述多个中空纤维膜的渗透外侧隔离开;以及

[0067] 位于所述壳体内的产出管板,所述产出管板固定所述多个中空纤维膜的产出端,并且使得所述多个中空纤维膜的所述渗透外侧能够与所述滞留物隔离开。

[0068] 10、根据条款9所述的模块,其中,所述馈送流路在所述多个中空纤维膜之中延伸,但被隔离成不与所述渗透外侧接触。

[0069] 11、根据条款10所述的模块,其中,所述馈送流路由在所述多个中空纤维膜之中延伸的管道部分地限定,所述管道具有由所述产出管板固定的第一端,并且所述管道具有由所述馈送管板固定的第二端,所述第一端与所述馈送端口流体连通,所述管道将所述馈送流路隔离成不与所述多个中空纤维膜的所述渗透外侧接触,并且所述第二端与所述多个中空纤维膜的所述馈送端流体连通。

[0070] 12、一种气体分离方法,所述方法包括:

[0071] 使用气体分离模块,所述气体分离模块包括壳体和位于所述壳体内的气体分离膜,所述气体分离膜具有馈送端和产出端,在所述馈送端和所述产出端之间具有滞留内侧和渗透外侧;

[0072] 把气体进料供给到所述壳体中,所述气体进料包含第一气体和不同的第二气体;

[0073] 使所述气体进料沿着馈送流路流动,所述馈送流路位于所述壳体内并且从所述气体分离膜的所述产出端向所述馈送端取向,所述气体进料被隔离成不与所述渗透外侧接触;

[0074] 在所述馈送流路之后,使所述气体进料沿着膜流路流动,所述膜流路由所述气体分离膜限定并且从所述气体分离膜的所述馈送端延伸到所述产出端,所述馈送流路与所述膜流路相逆;以及

[0075] 使所述滞留内侧与所述膜流路中的所述气体进料接触,使来自所述气体进料的所述第一气体中的至少一些气体渗透过所述气体分离膜而到达所述渗透外侧,并且产生滞留物,由于去除了来自所述气体进料的所述第一气体中的至少一些气体,所述滞留物富集在所述第二气体中。

[0076] 13、根据条款12所述的方法,其中,所述气体分离模块是飞行器油箱可燃性还原系统包括的空气分离模块,所述气体进料包括空气进料,所述第一气体包括氧气,所述第二气体包括氮气,并且所述方法进一步包括:

[0077] 把包含富氮空气的所述滞留物供给到飞行器机载的油箱中。

[0078] 14、根据条款12所述的方法,所述方法进一步包括:通过使所述馈送流路与所述膜流路相逆而使得能够在所述馈送流路和所述膜流路之间进行热交换,结果,提高了所述气体分离模块的分离效率。

[0079] 15、根据条款12所述的方法,所述方法进一步包括:建立所述气体分离膜的所述产出端的温度,该温度在所述气体分离膜的所述馈送端的温度的10°F之内。

[0080] 16、根据条款12所述的方法,所述方法进一步包括:提供用于所述气体分离模块的构造,选择一个或多个工艺条件,结果,补偿由于气体分离的热焓所造成的所述气体分离膜中的温度下降的至少一部分。

[0081] 17、根据条款12所述的方法,其中,所述壳体包括内壳和外壳,所述气体分离膜位于所述内壳内,并且使所述气体进料沿着馈送流路流动的步骤包括:使所述气体进料沿着所述内壳和所述外壳之间的通道流动。

[0082] 18、根据条款12所述的方法,其中,使所述气体进料沿着馈送流路流动的步骤或者使所述气体进料沿着膜流路流动的步骤或者这两个步骤包括:使所述气体进料沿着多个分离的流路流动。

[0083] 19、根据条款12所述的方法,其中,所述气体分离膜包括多个中空纤维膜,所述气

体分离模块包括：位于所述壳体内的馈送管板，所述馈送管板固定所述多个中空纤维膜的馈送端；以及位于所述壳体内的产出管板，所述产出管板固定所述多个中空纤维膜的产出端，并且所述方法进一步包括：

[0084] 使所述气体进料和所述多个中空纤维膜的渗透外侧与所述馈送管板隔离；以及

[0085] 使所述多个中空纤维膜的所述渗透外侧和所述滞留物与所述产出管板隔离。

[0086] 20、根据条款19所述的方法，其中，所述馈送流路在所述多个中空纤维膜之中延伸，并且所述方法进一步包括：将所述馈送流路隔离成不与所述渗透外侧接触。

[0087] 遵守规定，装置和方法已经或多或至少在字面上描述了关于结构和方法特征的细节。然而，应当理解的是，装置和方法并不限于示出和描述的具体特征。因此，装置和方法以任何的形式或修改被涵盖在依据等效原则适当解读的随附权利要求书的适当范围内。

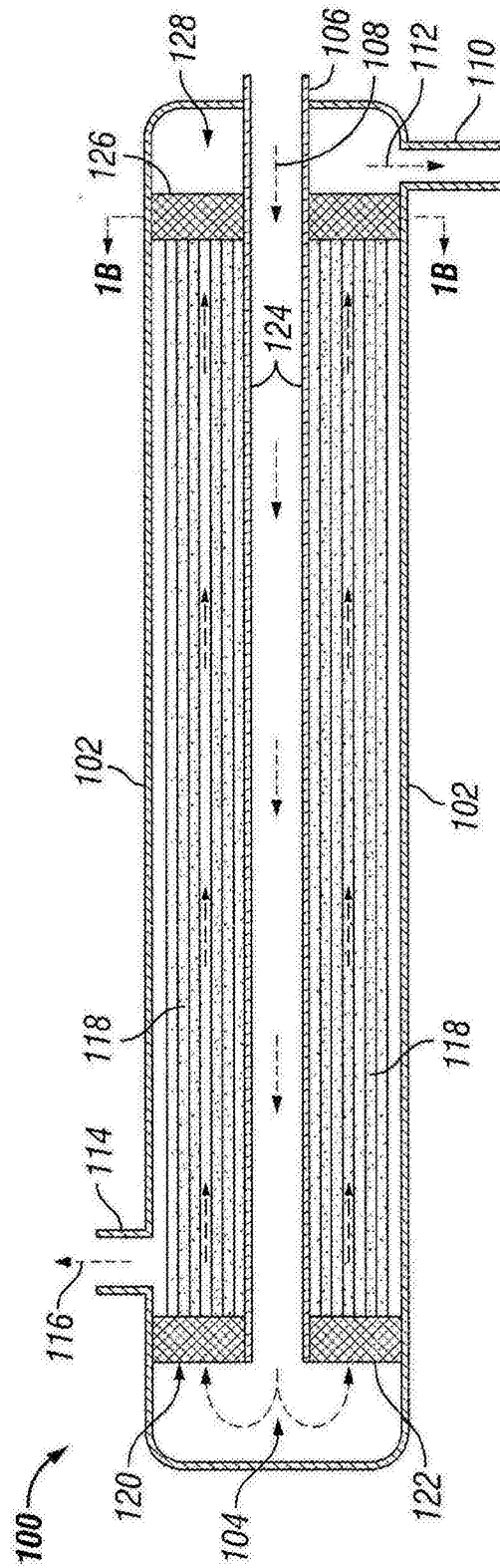


图1A

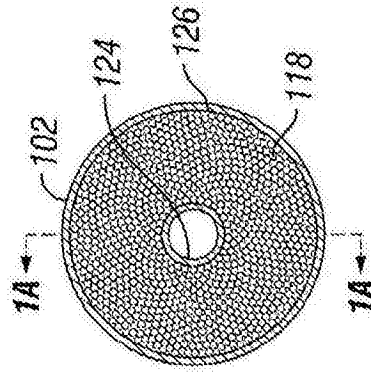


图1B

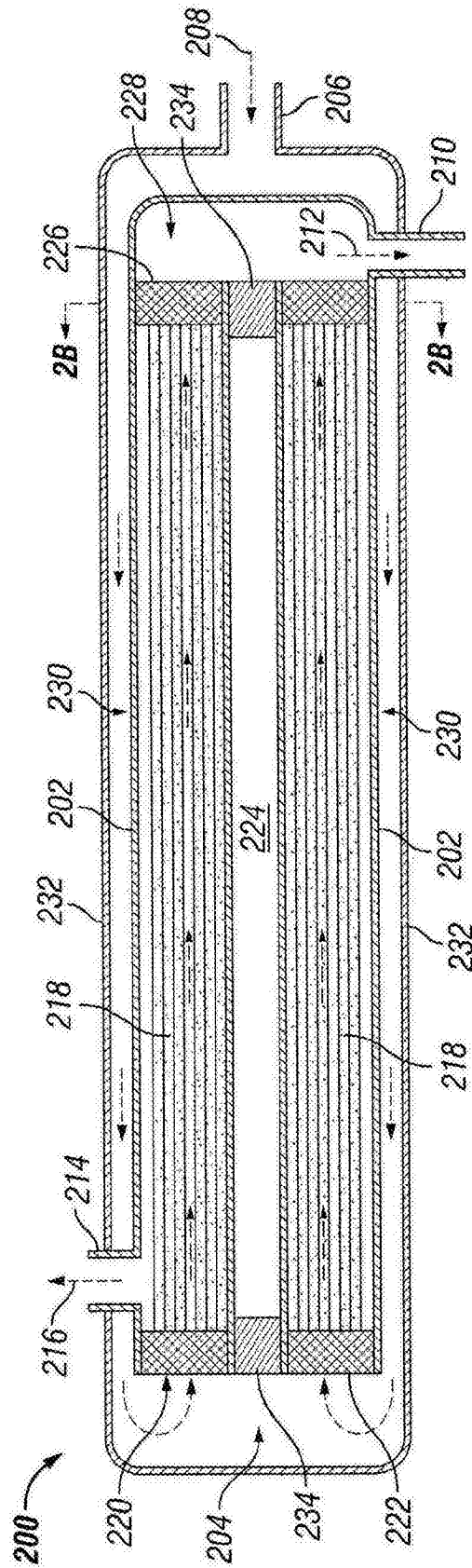


图2A

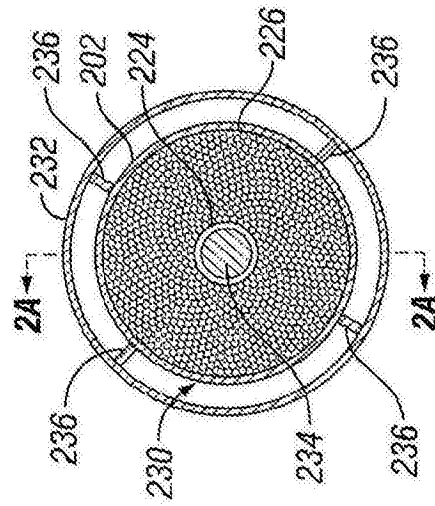


图2B

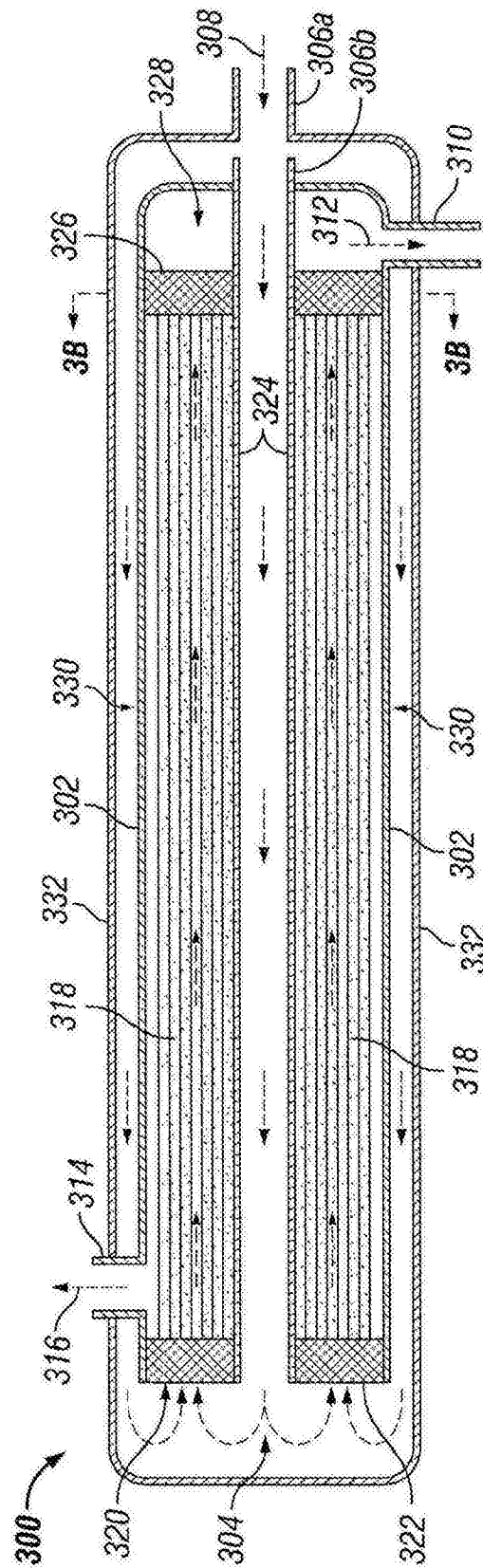


图3A

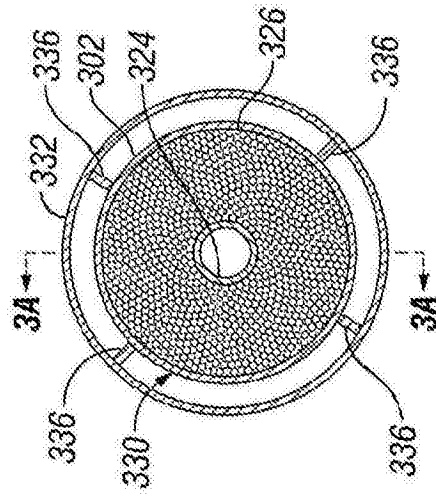


图3B

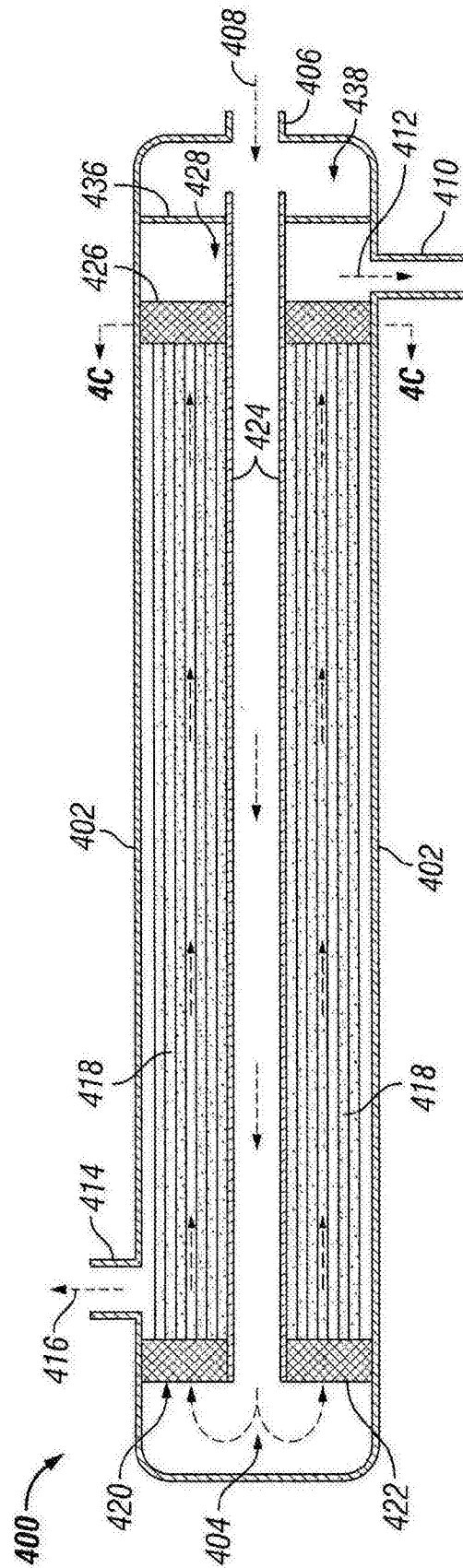


图4A

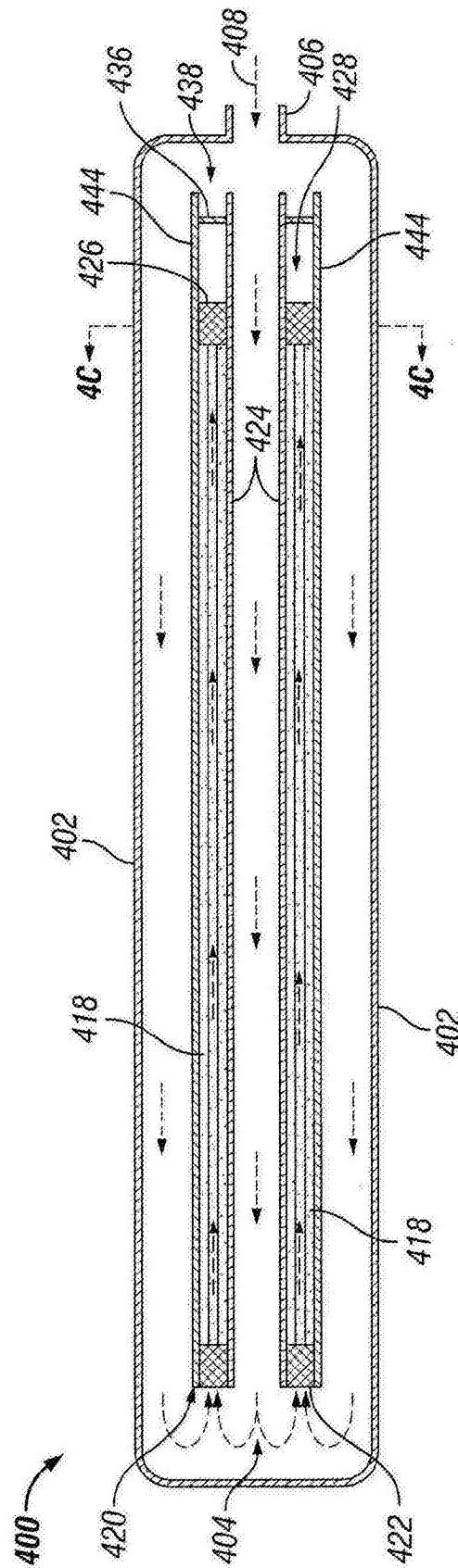


图4B

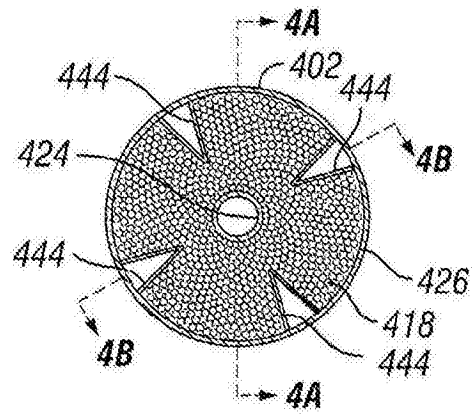


图4C

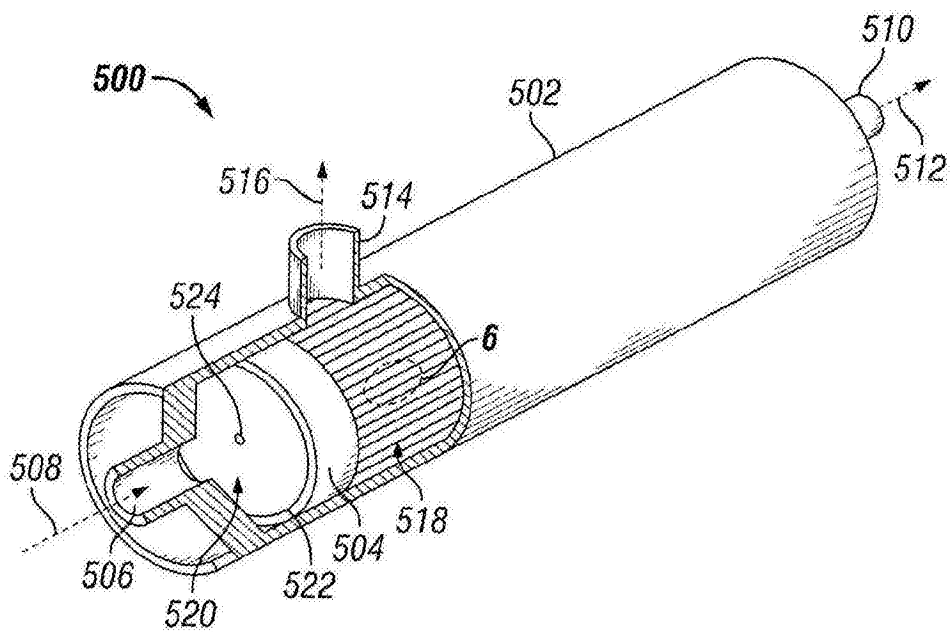


图5 (现有技术)

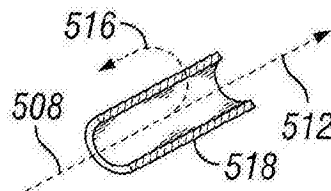


图6 (现有技术)

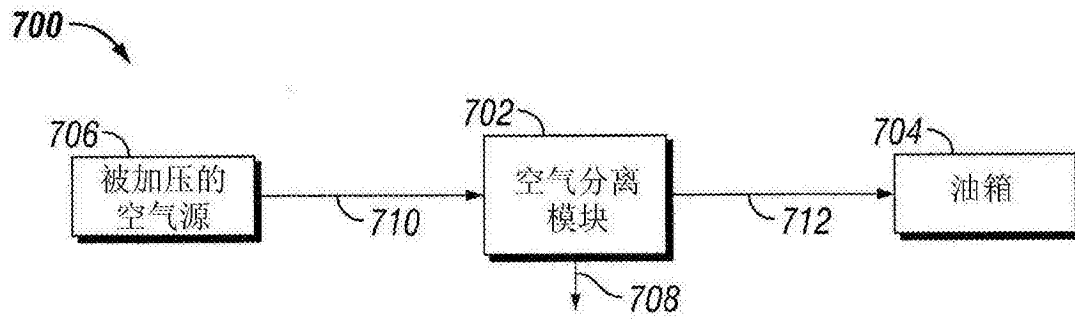


图7