(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 117797611 A
(43)申请公布日 2024.04.02

(21)申请号 202311257628.5

(22)申请日 2023.09.27

(30)优先权数据
17/956933 2022.09.30 US

(71)申请人 气体产品与化学公司
地址 美国宾夕法尼亚州

(72)发明人 M·P·奥布莱恩 D·E·亨利

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001
专利代理师 尚恩垚 郭帆扬

(51)Int.Cl.
B01D 53/22(2006.01)
B01D 53/04(2006.01)
B01D 63/04(2006.01)
B01D 63/08(2006.01)

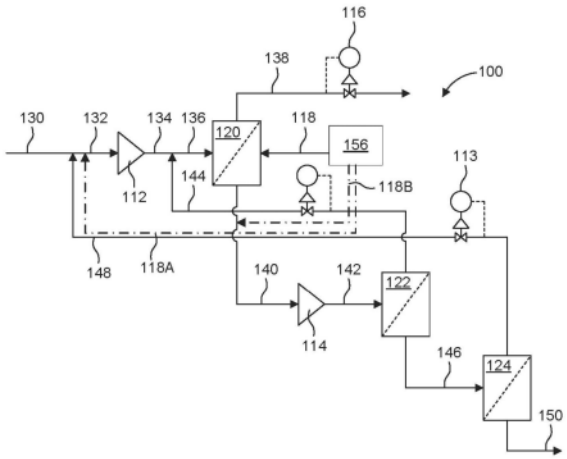
权利要求书3页 说明书10页 附图5页

(54)发明名称

利用吹扫气体进行非渗透气体的高回收的膜方法和系统

(57)摘要

一种用于使用多个膜组件级分离原料气体流的方法。原料气体流可以来自生物气体方法。来自系统中的另一个单元方法,如变温吸附单元或液化单元的废气可以用作膜组件级中的至少一个的低压侧上的低压吹扫气体。在一个实例中,吹扫气体用于第一膜组件级。在另一个实例中,提供了汽提膜组件级,并且吹扫气体用于汽提膜组件级。任选地,出于平衡压缩机功率需求的目的,废气的各个部分可以被引导至系统中的其他流。



CN 117797611 A

1.一种方法,其包括:

(a)压缩进料气体流以形成加压进料气体流;

(b)将所述加压进料气体流进料到至少一个第一级膜组件中,所述至少一个第一级膜组件中的每个具有第一高压侧和第一低压侧,所述第一高压侧从第一进料口延伸到第一非渗透口,所述第一低压侧与第一吹扫口和第一渗透口流体流连通;

(c)将所述至少一个第一级膜组件中的每个中的加压进料气体流分离成第一非渗透流和第一渗透流;

(d)使用在第一流动方向上进料的吹扫气体从所述第一渗透口吹扫和排出所述第一渗透流,所述第一流动方向与步骤(a)中的所述加压进料气体流进料到所述至少一个第一级膜组件中的第二流动方向相反;

(e)通过所述第一非渗透口从所述至少一个第一级膜组件中的每个排出所述第一非渗透流;

(f)在第一压缩机中压缩所述第一渗透流以形成压缩的第一渗透流;

(g)将所述压缩的第一渗透流进料到至少一个第二级膜组件,所述至少一个第二级膜组件中的每个具有第二高压侧和第二低压侧,所述第二高压侧从第二进料口延伸到第二非渗透口,所述第二低压侧与第二吹扫口和第二渗透口流体流连通;

(h)将所述至少一个第二级膜组件中的所述压缩的第一渗透流分离成第二非渗透流和第二渗透流;

(i)通过所述第二非渗透口从所述至少一个第二级膜组件中的每个排出所述第二非渗透流;

(j)通过所述第二渗透口从所述至少一个第二级膜组件中的每个排出所述第二渗透流;

(k)将所述第二非渗透流与压缩的组合进料流组合以形成所述加压进料气体流;

(l)将所述第二渗透流进料到至少一个第三级膜组件中,所述至少一个第三级膜组件中的每个具有第三高压侧和第三低压侧,所述第三高压侧从第三进料口延伸到第三非渗透口,所述第三低压侧与第三吹扫口和第三渗透口流体流连通;

(m)将所述至少一个第三级膜组件中的所述第二渗透流分离成第三非渗透流和第三渗透流;

(n)通过所述第三非渗透口从所述至少一个第三级膜组件中的每个排出所述第三非渗透流;

(n)通过所述第三渗透口从所述至少一个第三级膜组件中的每个排出所述第三渗透流;

(o)将所述第三非渗透流与原料气体流组合以形成组合进料流;以及

(p)在第二压缩机中压缩所述组合进料流以形成所述压缩的组合进料流。

2.根据权利要求1所述的方法,其中步骤(d)进一步包括在小于1.00barg的压力下引入所述吹扫气体。

3.根据权利要求1所述的方法,其中所述吹扫气体包括小于15%二氧化碳。

4.根据权利要求1所述的方法,其中所述吹扫气体包括至少85%甲烷。

5.根据权利要求1所述的方法,其中所述吹扫气体提供第一摩尔流速的氮气,所述第一

摩尔流速小于或等于所述加压进料气体流的第二摩尔流速的5％。

6.根据权利要求1所述的方法,其中所述吹扫气体包括废气。

7.根据权利要求6所述的方法,其中所述废气包括来自液化方法或变温吸附方法的废气。

8.根据权利要求1所述的方法,其中所述吹扫气体包括来自变温吸附(TSA)方法的尾气。

9.根据权利要求7所述的方法,其进一步包括将所述废气的至少一部分引导至选自以下群组的一种或多种:(1)所述进料气体流和(2)所述第一渗透流。

10.根据权利要求1所述的方法,其中所述至少一个第一级膜组件包括串联和/或并联布置的多个膜组件。

11.根据权利要求1所述的方法,其中所述至少一个第二级膜组件包括串联和/或并联布置的多个膜组件。

12.根据权利要求1所述的方法,其中所述至少一个第三级膜组件包括串联和/或并联布置的多个膜组件。

13.根据权利要求1所述的方法,其中所述原料气体流是来自厌氧消化器的产物流。

14.根据权利要求1所述的方法,其中所述原料气体流包括至少40％甲烷。

15.根据权利要求1所述的方法,其中步骤(f)进一步包括在所述第一压缩机中将所述第一渗透流压缩至至少10barg的压力,以形成所述压缩的第一渗透流。

16.根据权利要求1所述的方法,其中所述第一非渗透流包括至少70％甲烷。

17.根据权利要求1所述的方法,其中所述第三渗透流包括小于1％甲烷。

18.一种方法,其包括:

(a)压缩进料气体流以形成加压进料气体流;

(b)将所述加压进料气体流进料到至少一个第一级膜组件中,所述至少一个第一级膜组件中的每个具有第一高压侧和第一低压侧,所述第一高压侧从第一进料口延伸到第一非渗透口,所述第一低压侧与第一吹扫口和第一渗透口流体流连通;

(c)将所述至少一个第一级膜组件中的每个中的加压进料气体流分离成第一非渗透流和第一渗透流;

(d)通过所述第一非渗透口从所述至少一个第一级膜组件中的每个排出所述第一非渗透流;

(e)将所述第一非渗透流进料到至少一个汽提膜组件中,所述至少一个汽提膜组件中的每个具有第四高压侧和第四低压侧,所述第四高压侧从第四进料口延伸到第四非渗透口,所述第四低压侧与第四渗透口流体流连通;

(f)将所述至少一个汽提膜组件中的每个中的第一非渗透流分离成第四非渗透流和第四渗透流;

(g)从所述第四渗透口排出所述第四渗透流;

(h)通过所述第四非渗透口从所述至少一个汽提膜组件中的每个排出所述第四非渗透流;

(i)使用在第一流动方向上进料的吹扫气体从所述第四渗透口吹扫和排出所述第四渗透流,所述第一流动方向与步骤(e)中的所述第一非渗透流进料到所述至少一个汽提膜组

件中的第二流动方向相反;

(j)在第一压缩机中压缩所述第一渗透流以形成压缩的第一渗透流;

(k)将所述压缩的第一渗透流进料到至少一个第二级膜组件,所述至少一个第二级膜组件中的每个具有第二高压侧和第二低压侧,所述第二高压侧从第二进料口延伸到第二非渗透口,所述第二低压侧与第二吹扫口和第二渗透口流体流连通;

(l)将所述至少一个第二级膜组件中的所述压缩的第一渗透流分离成第二非渗透流和第二渗透流;

(m)通过所述第二非渗透口从所述至少一个第二级膜组件中的每个排出所述第二非渗透流;

(n)通过所述第二渗透口从所述至少一个第二级膜组件中的每个排出所述第二渗透流;

(o)将所述第二非渗透流与压缩的组合进料流组合以形成所述加压进料气体流;

(p)将所述第二渗透流进料到至少一个第三级膜组件中,所述至少一个第三级膜组件中的每个具有第三高压侧和第三低压侧,所述第三高压侧从第三进料口延伸到第三非渗透口,所述第三低压侧与第三吹扫口和第三渗透口流体流连通;

(q)将所述至少一个第三级膜组件中的所述第二渗透流分离成第三非渗透流和第三渗透流;

(r)通过所述第三非渗透口从所述至少一个第三级膜组件中的每个排出所述第三非渗透流;

(s)通过所述第三渗透口从所述至少一个第三级膜组件中的每个排出所述第三渗透流;

(t)将所述第三非渗透流与原料气体流组合以形成组合进料流;以及

(u)在第二压缩机中压缩所述组合进料流以形成所述压缩的组合进料流。

19.根据权利要求18所述的方法,其中步骤(i)进一步包括在小于1.00barg的压力下引入所述吹扫气体。

20.根据权利要求18所述的方法,其中所述吹扫气体包括来自液化方法或变温吸附方法的废气。

利用吹扫气体进行非渗透气体的高回收的膜方法和系统

技术领域

[0001] 本申请涉及一种用于从生物气体回收甲烷的多级膜方法和系统。

背景技术

[0002] 多级膜系统是将原生物气体流升级为高纯度甲烷流的已知方法。这种多级膜系统可以实现高甲烷回收率和纯度,但是通常需要相对高的膜面积(或数量)来实现。

[0003] 在一些基于膜的生物气体分离方法中,还存在从其他单元操作生成的具有低二氧化碳(CO2)浓度的低压废气,如来自变温吸附(TSA)系统或液化单元的尾气。可能期望在分离方法中插入低压废气。例如,可能期望从废气流回收甲烷(CH4)或CO2。然而,将废气流插入到分离方法中可能会增加实现期望产物纯度所需的膜面积。

[0004] 因此,需要一种有效的、可靠的且有成本效益的多级膜方法和系统,其可以实现期望的甲烷产物回收率和纯度,同时降低所需的膜尺寸和资本成本。此外,需要利用不增加膜面积和相关资本成本的多级膜方法系统来处理从其他单元操作生成的外部气体流。

发明内容

[0005] 提供本发明内容是为了以简化的形式介绍一系列概念,这些概念将在以下的具体实施方式中进一步描述。本发明内容不旨在标识所要求保护的主题的关键特征或必要特征,其也不旨在用于限制所要求保护的主题的范围。

[0006] 所公开的实施例通过提供一种用于从生物气体回收甲烷的多级膜方法和系统来满足本领域的需求,该方法和系统利用气体吹扫负责生成最终生物甲烷产物的膜。吹扫气体沿膜的低压(或渗透)侧施加,并且用于稀释在低压侧渗透的物质的分压并且增加驱动力,这改善了膜方法的性能并且降低了膜的资本成本。

[0007] 下面概述了系统和方法的几个方面。

[0008] 方面1:一种方法,其包括:

[0009] (a)压缩进料气体流以形成加压进料气体流;

[0010] (b)将所述加压进料气体流进料到至少一个第一级膜组件中,所述至少一个第一级膜组件中的每一个具有第一高压侧和第一低压侧,所述第一高压侧从第一进料口延伸到第一非渗透口,所述第一低压侧与第一吹扫口和第一渗透口流体流连通;

[0011] (c)将所述至少一个第一级膜组件中的每一个中的所述加压进料气体流分离成第一非渗透流和第一渗透流;

[0012] (d)使用在第一流动方向上进料的吹扫气体从所述第一渗透口吹扫和排出所述第一渗透流,所述第一流动方向与步骤(a)中的所述加压进料气体流进料到所述至少一个第一级膜组件中的第二流动方向相反;

[0013] (e)通过所述第一非渗透口从所述至少一个第一级膜组件中的每一个排出所述第一非渗透流;

[0014] (f)在第一压缩机中压缩所述第一渗透流以形成压缩第一渗透流;

[0015] (g)将所述压缩第一渗透流进料到至少一个第二级膜组件中,所述至少一个第二级膜组件中的每一个具有第二高压侧和第二低压侧,所述第二高压侧从第二进料口延伸到第二非渗透口,所述第二低压侧与第二吹扫口和第二渗透口流体流连通;

[0016] (h)将所述至少一个第二级膜组件中的所述压缩第一渗透流分离成第二非渗透流和第二渗透流;

[0017] (i)通过所述第二非渗透口从所述至少一个第二级膜组件中的每一个排出所述第二非渗透流;

[0018] (j)通过所述第二渗透口从所述至少一个第二级膜组件中的每一个排出所述第二渗透流;

[0019] (k)将所述第二非渗透流与压缩组合进料流组合以形成所述加压进料气体流;

[0020] (l)将所述第二渗透流进料到至少一个第三级膜组件中,所述至少一个第三级膜组件中的每一个具有第三高压侧和第三低压侧,所述第三高压侧从第三进料口延伸到第三非渗透口,所述第三低压侧与第三吹扫口和第三渗透口流体流连通;

[0021] (m)将所述至少一个第三级膜组件中的所述第二渗透流分离成第三非渗透流和第三渗透流;

[0022] (n)通过所述第三非渗透口从所述至少一个第三级膜组件中的每一个排出所述第三非渗透流;

[0023] (n)通过所述第三渗透口从所述至少一个第三级膜组件中的每一个排出所述第三渗透流;

[0024] (o)将所述第三非渗透流与原料气体流组合以形成组合进料流;以及

[0025] (p)在第二压缩机中压缩所述组合进料流以形成所述压缩组合进料流。

[0026] 方面2:根据方面1所述的方法,其中步骤(d)进一步包括在小于1.00barg的压力下引入所述吹扫气体。

[0027] 方面3:根据方面1-2中任一项所述的方法,其中所述吹扫气体包括小于15%二氧化碳。

[0028] 方面4:根据方面1-3中任一项所述的方法,其中所述吹扫气体包括至少85%甲烷。

[0029] 方面5:根据方面1-4中任一项所述的方法,其中所述吹扫气体提供第一摩尔流速的氮气,所述第一摩尔流速小于或等于所述加压进料气体流的第二摩尔流速的5%。

[0030] 方面6:根据方面1-5中任一项所述的方法,其中所述吹扫气体包括废气。

[0031] 方面7:根据方面1-6中任一项所述的方法,其中所述废气包括来自液化方法或变温吸附方法的废气。

[0032] 方面8:根据方面1-7中任一项所述的方法,其中所述吹扫气体包括来自变温吸附(TSA)方法的尾气。

[0033] 方面9:根据方面1-8中任一项所述的方法,其进一步包括将所述废气的至少一部分引导至选自以下群组的一种或多种:(1)所述进料气体流和(2)所述第一渗透流。

[0034] 方面10:根据方面1-9中任一项所述的方法,其中所述至少一个第一级膜组件包括串联和/或并联布置的多个膜组件。

[0035] 方面11:根据方面1-10中任一项所述的方法,其中所述至少一个第二级膜组件包括串联和/或并联布置的多个膜组件。

[0036] 方面12:根据方面1-11中任一项所述的方法,其中所述至少一个第三级膜组件包括串联和/或并联布置的多个膜组件。

[0037] 方面13:根据方面1-12中任一项所述的方法,其中所述原料气体流是来自厌氧消化器的产物流。

[0038] 方面14:根据方面1-13中任一项所述的方法,其中所述原料气体流包括至少40%甲烷。

[0039] 方面15:根据方面1-14中任一项所述的方法,其中步骤(f)进一步包括在所述第一压缩机中将所述第一渗透流压缩至至少10barg的压力,以形成所述压缩第一渗透流。

[0040] 方面16:根据方面1-15中任一项所述的方法,其中所述第一非渗透流包括至少70%甲烷。

[0041] 方面17:根据方面1-16中任一项所述的方法,其中所述第三渗透流包括小于1%甲烷。

[0042] 方面18:一种方法,其包括:

[0043] (a)压缩进料气体流以形成加压进料气体流;

[0044] (b)将所述加压进料气体流进料到至少一个第一级膜组件中,所述至少一个第一级膜组件中的每一个具有第一高压侧和第一低压侧,所述第一高压侧从第一进料口延伸到第一非渗透口,所述第一低压侧与第一吹扫口和第一渗透口流体流连通;

[0045] (c)将所述至少一个第一级膜组件中的每一个中的所述加压进料气体流分离成第一非渗透流和第一渗透流;

[0046] (d)通过所述第一非渗透口从所述至少一个第一级膜组件中的每一个排出所述第一非渗透流;

[0047] (e)将所述第一非渗透流进料到至少一个汽提膜组件中,所述至少一个汽提膜组件中的每一个具有第四高压侧和第四低压侧,所述第四高压侧从第四进料口延伸到第四非渗透口,所述第四低压侧与第四渗透口流体流连通;

[0048] (f)将所述至少一个汽提膜组件中的每一个中的所述第一非渗透流分离成第四非渗透流和第四渗透流;

[0049] (g)从所述第四渗透口排出所述第四渗透流;

[0050] (h)通过所述第四非渗透口从所述至少一个汽提膜组件中的每一个排出所述第四非渗透流;

[0051] (i)使用在第一流动方向上进料的吹扫气体从所述第四渗透口吹扫和排出所述第四渗透流,所述第一流动方向与步骤(e)中的所述第一非渗透流进料到所述至少一个汽提膜组件中的第二流动方向相反;

[0052] (j)在第一压缩机中压缩所述第一渗透流以形成压缩第一渗透流;

[0053] (k)将所述压缩第一渗透流进料到至少一个第二级膜组件中,所述至少一个第二级膜组件中的每一个具有第二高压侧和第二低压侧,所述第二高压侧从第二进料口延伸到第二非渗透口,所述第二低压侧与第二吹扫口和第二渗透口流体流连通;

[0054] (l)将所述至少一个第二级膜组件中的所述压缩第一渗透流分离成第二非渗透流和第二渗透流;

[0055] (m)通过所述第二非渗透口从所述至少一个第二级膜组件中的每一个排出所述第

二非渗透流;

[0056] (n)通过所述第二渗透口从所述至少一个第二级膜组件中的每一个排出所述第二渗透流;

[0057] (o)将所述第二非渗透流与压缩组合进料流组合以形成所述加压进料气体流;

[0058] (p)将所述第二渗透流进料到至少一个第三级膜组件中,所述至少一个第三级膜组件中的每一个具有第三高压侧和第三低压侧,所述第三高压侧从第三进料口延伸到第三非渗透口,所述第三低压侧与第三吹扫口和第三渗透口流体流连通;

[0059] (q)将所述至少一个第三级膜组件中的所述第二渗透流分离成第三非渗透流和第三渗透流;

[0060] (r)通过所述第三非渗透口从所述至少一个第三级膜组件中的每一个排出所述第三非渗透流;

[0061] (s)通过所述第三渗透口从所述至少一个第三级膜组件中的每一个排出所述第三渗透流;

[0062] (t)将所述第三非渗透流与原料气体流组合以形成组合进料流;以及

[0063] (u)在第二压缩机中压缩所述组合进料流以形成所述压缩组合进料流。

[0064] 方面19:根据方面18所述的方法,其中步骤(i)进一步包括在小于1.00barg的压力下引入所述吹扫气体。

[0065] 方面20:根据方面18-19中任一项所述的方法,其中所述吹扫气体包括来自液化方法或变温吸附方法的废气。

附图说明

[0066] 图1是示例性三级生物气体分离系统的方法流程图;

[0067] 图2是示例性三级膜生物气体分离系统的方法流程图,其中第一级膜包含用于引入外部吹扫气体的入口;

[0068] 图3是示出示例性气体分离膜的内部结构的截面图;

[0069] 图4是阐述图1的三级生物气体分离系统的性能特性的表格;

[0070] 图5是阐述图2中示出的三级生物气体分离系统的性能特性的表格;并且

[0071] 图6是包含汽提级的另一个示例性三级膜生物气体分离系统的方法流程图。

具体实施方式

[0072] 随后的详细描述仅提供了示例性实施例,并且不旨在限制本发明的范围、适用性或配置。相反,随后对示例性实施例的详细描述将为本领域技术人员提供能够实施本发明的示例性实施例的描述。在不脱离本发明的精神和范围的情况下,可以对元件的功能和布置进行各种改变。

[0073] 为了帮助描述本发明,在说明书和权利要求中可以使用方向性术语来描述本发明的各个部分(例如,上、下、左、右等)。这些方向性术语仅仅旨在帮助描述和要求保护本发明,而不是旨在以任何方式限制本发明。此外,在说明书中引入的与附图相关联的附图标记可以在一个或多个后续附图中重复而无需在说明书中进行额外描述,以便为其他特征提供上下文。

[0074] 在权利要求中,使用字母来标识所要求保护的步骤(例如,(a)、(b)和(c))。这些字母用于帮助参考方法步骤,并且不旨在指示进行所要求保护的步骤的顺序,除非在权利要求中具体叙述了这种顺序并且仅以此情况为例外。

[0075] 除非另有指示,否则当应用于说明书和权利要求中描述的本发明的实施例中的任何特征时,本文使用的冠词“一个(a/an)”意指一个或多个。“一个”的使用并不将含义限制为单个特征,除非具体叙述了这种限制。单数或复数名词或名词短语前面的冠词“所述(the)”表示一个或多个特定的指定特征,并且可以取决于其所使用的上下文而具有单数或复数含义。

[0076] 说明书和权利要求中使用的术语“生物气体”意指通过分解有机物质,例如食物残渣或动物粪便而产生的可再生燃料。

[0077] 说明书和权利要求中使用的术语“吹扫气体”意指供应到膜的低压侧并且稀释渗透气体,从而降低其分压,进一步有助于从膜中去除渗透气体的气体流。

[0078] 说明书和权利要求中使用的术语“膜”意指两个相邻相之间的界面,其用作选择性屏障,从而调节气体混合物中的气体的传输。

[0079] 说明书和权利要求中使用的术语“废气”意指产生或放出的气体,尤其是作为化学方法的副产物排放的气体。

[0080] 说明书和权利要求中使用的术语“生物甲烷产物”意指已被浓缩至至少95%甲烷的精制生物气体。

[0081] 说明书和权利要求中使用的术语“变温吸附”意指利用被吸附物的热力学特性的分离方法。

[0082] 说明书和权利要求中使用的术语“膜组件”意指一种装置,其用于通过使进料气体在相对高的压力下流过壳体(也被称为高压侧)内含有的一个或多个导管来选择性地分离气体。导管至少部分地由膜材料限定,膜材料在每个导管和壳体空间(也被称为低压侧)之间提供屏障。壳体空间是在壳体内并且在每个膜的外部的被保持在相对低的压力下的内部体积。壳体侧与渗透口流体流连通,透过膜的气体通过渗透口离开壳体。任选地,也可以提供吹扫口,其向壳体空间供应吹扫气体,并且帮助渗透气体流过渗透口。选择膜材料以使进料流中的一种或多种气体(被称为渗透气体)能够以比进料流中的其他气体(被称为非渗透或产物气体)更高的速率通过膜材料。

[0083] 图1是示例性三级膜生物气体分离系统10,其包含两个压缩机12和14。生物气体通常包括二氧化碳(CO_2)和甲烷(CH_4)作为主要成分,通常还包括其他次要成分,如氧气(O_2)和氮气(N_2)。系统10中使用的膜对CO_2的选择性通常高于CH_4,这意味着CO_2被认为是优先以相对高的速率穿过膜的快速渗透气体,而CH_4是以相对低的速率穿过膜的慢速渗透气体。在下文中,快速渗透气体和慢速渗透气体可以分别被称为快速气体和慢速气体。气体通过膜的渗透性受溶液扩散传输机制控制,其中渗透速率随分子尺寸(扩散性)和聚合物中的分子溶解性而变化并且与驱动力成比例。用于气体分离的驱动力是渗透物质在膜的高压侧和低压侧之间的分压差。气体混合物的每种气态组分的气体渗透性通常是不同的,并且每种气态组分的分压与其在气体混合物中的相对浓度以及气体混合物的总压力成比例。

[0084] 在系统10中,第三非渗透流48(下面讨论)被混合到原料气体流30中以形成组合进料流32。原料气体流可以获自多种来源;一个这种来源是有机固体在厌氧消化期间进行生

物发酵所产生的生物气体。生物气体原料气体流的典型组成是40-70％CH4、30-60％CO2(水蒸气饱和)和低浓度硫化氢(0-5ppm)、氮气(0-5％)和氧气(0-5％)。组合进料流32在进料压缩机12中被压缩至较高压力以产生压缩组合进料流34。第二再循环流44(也被称为第二非渗透流44,如下所讨论)被混合到压缩组合进料流34中以形成加压进料气体流36。

[0085] 含有慢速和快速气体混合物的加压进料气体36被供应到第一级膜20。主要包括快速气体加上少量慢速气体的气体作为第一渗透流40透过并且离开第一级膜20,而主要包括慢速气体加上少量快速气体但未能透过膜的气体作为第一非渗透流38被拒绝以及被收回。在生物气体的情况下,CO2的渗透比CH4快得多。第一级非渗透流38可以作为慢速气体的最终产物流被收回,其具有高浓度的慢速气体和极低浓度的快速气体。第一渗透流40在压缩机14中被再次压缩,从而生成压缩第一级渗透流42,其被进料到第二级膜22,在该第二级膜处,另外的慢速气体作为第二级非渗透流44被拒绝以及被收回,并且快速气体透过膜,从而生成第二级渗透流46。第二级非渗透流44在进料压缩机12下游的点处被混合到压缩组合进料流34中。第二级渗透流46被进料到第三级膜24,在该第三级膜处,慢速气体作为第三级非渗透流48被拒绝以及被收回,并且快速气体透过膜24并且生成废物流50。第三级非渗透流48被返回到进料压缩机12上游的点处,在该点处,其被混合到原料气体流30中,如上所讨论,并且通过系统10再循环。每个膜20、22、24可以含有一个或多个膜。如果在每个级处使用多个膜,它们可以串联或并联布置,或者以两种方式布置。

[0086] 对于生物气体生成系统来说,从其他单元操作生成具有低CO2浓度的低压废气并不罕见,如来自变温吸附(TSA)系统或液化单元的尾气。在系统10中,废气流18在进料压缩机12的上游被添加到组合进料流32中。在许多应用中,将废气流18添加到组合进料流32中增加了实现期望产物纯度所需的膜面积。此外,低压废气流18通常具有比原料气体流30更高的纯度。因此,将两种流组合在一起在热力学上不是有利的。

[0087] 图2示出了三级膜生物气体分离系统100的一个示例性实施例。系统100基本上类似于图1的系统10,但是被改造成引入废气流(示意性地示出为来自废气来源156)作为用于第一级膜120的低压吹扫气体流118,而不是添加到组合进料流132中。

[0088] 与系统10一样,本系统100中使用的膜120、122、124对CO2的选择性也高于CH4。在图2的系统100中,含有快速气体和慢速气体的混合物(例如,含有CO2和CH4的生物气体)的原料气体流130被进料到系统100中。例如,与系统10一样,原料气体可以通过有机固体在厌氧消化期间进行生物发酵获得。第一再循环流148(也被称为第三非渗透流148)被混合到原料气体流130中以形成组合进料流132。组合进料流132在进料压缩机112中被压缩至较高压力以产生压缩组合进料流134。第二再循环流144(也被称为第二非渗透流144)被混合到压缩组合进料流134中以形成加压进料气体流136,该加压进料气体流含有慢速和快速渗透气体的混合物并且被供应到对快速气体的选择性高于慢速气体的第一级膜120。在这种生物气体的情况下,CO2的渗透比CH4快得多。第一级膜120可以包含一个或多个膜。

[0089] 低压吹扫气体流118的组成优选为0-5％CO2和小于1％不期望的慢速气体(如氮气)。吹扫气体流118被进料到第一级膜120,以吹扫第一级膜120的壳体侧。主要包括快速气体加上少量慢速气体的气体作为第一渗透流140透过并离开第一级膜120,而主要包括慢速气体加上少量快速气体但未能透过第一级膜120的气体作为第一非渗透流138被拒绝以及被收回。可以使用控制阀116来在第一非渗透流138离开系统100时调节其压力。

[0090] 第一非渗透流138可以作为慢速气体的最终产物流被收回,其具有高浓度的慢速气体和极低浓度的快速气体。第一渗透流140在第一级渗透压缩机114中被再次压缩,从而生成压缩第一渗透流142,即快速渗透气体与一定量的慢速渗透气体的加压混合物,其被进料到第二级膜组件122,该第二级膜组件可以包含一个或多个膜。主要包括快速气体加上少量慢速气体的气体作为第二渗透流146透过并且离开第二级膜组件122,而包括慢速和快速气体但未能透过膜的气体作为第二非渗透流144被拒绝以及被收回。第二非渗透流144被再循环回到进料压缩机112下游的压缩组合进料流134中。

[0091] 第二渗透流146被进料到第三级膜124。在第三级膜124中,主要包括快速气体加上少量慢速气体的气体作为第三渗透流150透过并且离开第三级膜124,而慢速气体作为第三级非渗透流148被拒绝以及被收回。第三非渗透流148被再循环回到进料压缩机112上游的原料气体流130中。使用控制阀113来保持跨第三级膜124的适当压力,并且可以使用该控制阀来影响第二级膜组件122的壳体侧上的压力。第三渗透流150(也被称为排放流150)是富含快速气体的流,在生物气体的情况下主要是CO2,其可以取决于应用而被排放或进一步处理。第三级膜124可以包含一个或多个膜。每个膜级120、122和124可以含有一个或多个膜,其中多个膜串联或并联布置。

[0092] 系统100可以用于分离进料流130中的多种快速气体/慢速气体对中的任何一种,包含但不限于:CO2/CH4、H2/CO、H2/CO2、CO2/N2、O2/N2、He/CH4、H2/CH4和H2/N2。

[0093] 在一些应用中,可能期望提供以受控方式将废气156的各个部分引入系统100的不同流中的能力。例如,可能期望将废气156的第一部分118A引入进料压缩机112上游的组合进料流132中,和/或将废气156的第二部分118B引入第一级渗透压缩机114上游的第一渗透流140中。可以调节被引导至流118、118A和118B中的每一个的废气156的分数,以平衡驱动进料压缩机112和第一级渗透压缩机114所需的功率。

[0094] 图6示出了三级膜生物气体分离系统200的另一个示例性实施例。系统200基本上类似于图2的系统100,但是被改造成引入汽提级,该汽提级包括汽提膜252,第一非渗透流238被进料到该汽提膜中。本实施例可以用于产物气体中需要极低的CO2浓度的应用中。在本实施例中,与第一实施例(图2的系统100)共有的元件由增加100的附图标记表示。例如,图2中的进料压缩机112对应于图6中的进料压缩机216。为了说明书的简洁,本实施例与第一实施例共有的一些特征在图6中进行了编号,但是在说明书中不再重复。

[0095] 在汽提膜252中,包括快速和慢速渗透气体的混合物的气体作为第四渗透流258透过并离开汽提膜252,而慢速气体作为汽提非渗透流260被拒绝以及被收回。可以使用控制阀216来在汽提非渗透流260离开系统200时调节其压力。主要包括快速和慢速渗透气体的混合物的汽提渗透流254透过并离开汽提膜252。汽提渗透流254的全部或部分可以被引导至系统200中的一个或多个流。例如,部分254A可以被再循环到进料压缩机212上游的压缩进料流234中,部分254B可以在流入第一级膜220的壳体侧之前与吹扫气体218组合,和/或部分254C可以被进料到第一级渗透压缩机214的入口。

[0096] 在大多数应用中,吹扫气体将仅被供应到提供最终产物气体流的膜组件级的低压侧。通常,产物气体流是系统中的任何流中的具有最高浓度的产物气体(在本文提供的实例中,CH4)的流。在系统100中,第一非渗透流138是最终产物流(也被称为生物甲烷产物)。因此,在系统100中,吹扫气体流118被供应到第一级膜组件120的低压侧。在系统200中,汽提

非渗透流260是产物气体流。因此,吹扫气体218C被供应到汽提膜组件252的低压侧。

[0097] 现在参考图3,示出了示例性第一级膜120的结构细节。类似的结构可以用于系统100中使用的膜120、122、124中的任一个。第一级膜120包括芯部,该芯部具有沿着壳体162的长度延伸的一束末端开口的中空纤维160a-h。壳体162包含进料口164、非渗透口166和渗透口168,加压进料气体流136通过该进料口进料,第一非渗透流138通过该非渗透口离开第一级膜120,并且第一渗透流140通过该渗透口离开第一级膜120。

[0098] 中空纤维160a-h束的两端由管板170、172保持在一起,该管板由热塑性或热固性材料制成。管板材料的实例包含固化环氧树脂或聚氨酯基调配物。一个管板170位于第一级膜120的进料端174(邻近进料口164),而另一个管板172位于第一级膜120的非渗透端176(邻近非渗透口166)。

[0099] 为了在加压进料气体流136和第一渗透流140之间提供逆流,渗透口168位于进料端管板170的内侧,并且通常不超过从进料端管板170的内边缘到非渗透端管板172的距离的1/3。类似地,吹扫口178位于非渗透端管板172的内侧,并且通常不超过距非渗透端管板172的内边缘的距离的1/3。吹扫口178可以与吹扫气体118的供应流体流连通。

[0100] 纤维160a-h具有半渗透壁,这些半渗透壁旨在使快速气体可透过而慢速气体不太可透过。因此,当作为慢速和快速气体的混合物的加压进料气体流136流过纤维160a-h时,快速气体穿过纤维160a-h的壁并且流过渗透口168,而慢速气体保留在纤维160a-h内并且流向非渗透口166。

[0101] 第一级膜120的孔侧在本文中被定义为流体通过进料口164引入、通过纤维160a-h的孔或腔侧(由图3中的箭头所示)并且通过非渗透口166离开时所遵循的路径。第一级膜120的壳体侧在本文中被定义为壳体162内、管板170、172之间、和纤维160a-h外部的内部体积。在系统100中,加压进料气体流136流入第一级膜120的孔侧,并且作为第一非渗透流138离开孔侧。在穿过纤维160a-h的壁之后,加压进料气体流136的快速气体部分进入壳体侧,在壳体侧处,它任选地与吹扫气体118混合,并且作为第一渗透流140通过渗透口168被吹扫出壳体侧。

[0102] 吹扫气体流118可以以小于1.00barg,例如0.89barg的低压引入。吹扫气体流118可以以小于15%或小于10%或小于5%的CO2浓度提供。吹扫气体流118可以以大于85%或大于90%或大于95%的CH4浓度提供。吹扫气体流118可以被提供某一摩尔流速的所含氮气,该摩尔流速小于或等于流130中的原料气体的总摩尔流速的5%。吹扫气体流118可以被提供某一摩尔流速的所含氧气,该摩尔流速小于或等于流130中的原料气体的总摩尔流速的5%。

[0103] 在系统100中,每个膜级120、122和124可以含有一个或多个膜,其中多个膜串联和/或并联布置。每个膜可以是平板或中空纤维的形式,并且膜组件可以是螺旋卷式平板或一束中空纤维。每个膜级120、122和124不必使用相同数量和/或类型的膜。例如,在一些实施例中,所有三个级使用可以使用具有相同渗透性和选择性的膜。在其他实施例中,每一级的膜渗透性和选择性可以不同于其他级的膜渗透性和选择性。在另一些实施例中,两个级可以使用相同渗透性和选择性的膜,而其余一级可以使用不同渗透性和选择性的膜。每个膜可以由选自本领域已知的或将来确定适合于所需分离的多种聚合物的单一聚合物制成,或者每个膜可以是由多种聚合物制成的复合膜。

[0104] 应理解,可以使用其他类型的膜组件。膜配置的实例包含被封装成膜束、平板或螺旋卷的中空纤维,以及板框配置。膜通常由聚合物形成。用于制造膜的聚合物的实例包含但不限于聚苯乙烯、聚砜、聚醚砜、聚氟乙烯、聚偏二氟乙烯、聚醚醚酮、聚碳酸酯、聚苯醚、聚乙烯、聚丙烯、乙酸纤维素、聚酰亚胺(如Matrimid 5218或P-84)、聚酰胺、聚乙烯醇、聚乙酸乙烯酯、聚氧化乙烯、聚二甲基硅氧烷、共聚物、嵌段共聚物或聚合物共混物。中空纤维膜可以是不对称的并且具有无孔层,或者可以含有具有无孔涂层的多孔载体。可以在中空纤维的内表面或外表面涂覆涂层。中空纤维束在一端或两端通过管板保持在一起的膜(如图3的膜120),管板可以由热塑性或热固性材料制成。管板材料的实例包含固化环氧树脂或聚氨酯基调配物。容器可以由塑料、金属或其他合适的材料构造。

[0105] 在提供一束中空纤维的实施例中(如图3的膜120),进料气体可以通过纤维的孔侧进料(如图3中所示)。可替代地,进料气体可以通过壳体空间进料。在这种情况下,壳体空间将成为膜的高压侧,孔空间将成为膜的低压侧,吹扫口178和渗透口168将成为进料口和产物口,而进料口164和非渗透口166将分别成为吹扫口和渗透口。

[0106] 图4和5的表格将系统10(图1)(其将废气流添加到组合进料流32中)的三级生物气体分离的性能特性与系统100(图2)(其使用废气流作为用于第一级膜120的吹扫气体流118)的三级生物气体分离的性能特性进行比较。使用下表1中阐述的条件进行模拟:

[0107] 表1

[0108]

原料:500NMH,60%CH4/40%CO2
操作温度:40℃
第一压缩机出口压力:13barg
第二压缩机出口压力:13.9barg
TSA尾气:200NMH,95%CH4/5%CO2
目标:在生物甲烷产物中,98.5%CH4
目标:在排放流中,1%CH4
CO2/CH4选择性=30

[0109] 如图4和5中所示,并且如下表2中所总结,系统10和系统100都产生目标产物组成和目标产物回收率。然而,利用吹扫气体流118,本系统100在上述条件下利用系统10所需的膜面积的75%实现了相同的结果。

[0110] 表2

[0111]

	系统100(图2)	系统10(图1)
产物组成	在生物甲烷产物38中,98.5% CH4;在排放流50中,1% CH4	在生物甲烷产物138中,98.5% CH4;在排放流150中,1% CH4
产物回收率	99.58% CH4	99.58% CH4
总相对膜面积	0.75	1.0

[0112] 如图4中所示,使用具有三个膜级20、22和24、进料压缩机12和第一级渗透压缩机14的系统10的配置进行方法模拟。在这种方法模拟下,低压废气在压缩机上游的点处供应,

而不是作为吹扫气体系统10。向系统提供500NMH的含有60％CH4和40％CO2的原生物气体流30的进料。将进料流30与流速为20.2NMH并且含有56.12％CH4和43.88％CO2的第三非渗透流48以及流速为200NMH并且含有95.00％CH4和5.00％CO2的低压废气组合,以形成组合进料流32,该组合进料流由压缩机12压缩。将所得压缩组合进料流34与250.8NMH的含有62.17％CH4和37.83％CO2的第二非渗透流44组合,以在大约13.00barg和40.0℃下产生971.1NMH的含有67.69％CH4和32.31％CO2的加压进料气体流36。将压缩组合进料流36进料到第一级膜20,以生成第一非渗透流38和第一渗透流40。第一非渗透流38的摩尔流速为495.4NMH,含有98.5％CH4和1.5％CO2,并且作为产物气体被收回。

[0113] 进入第一渗透压缩机14的第一渗透流40的摩尔流速为475.7NMH。将加压进料气体流42进料到第二级膜22,以生成第二非渗透流44和第二渗透流46。将第二渗透流46进料到第三级膜。第三级渗透流50(或废物流)被以204.6NMH收回,并且含有仅1.00mol％CH4和99.0％CO2。

[0114] 通过比较,图5阐述了使用系统100的配置进行的方法模拟,该系统利用低压废气作为吹扫气体流118。系统100包含三级膜120、122和124、进料压缩机112和第一级渗透压缩机114。向系统100提供500NMH的含有60％CH4和40％CO2的原生物气体流130的进料。将流130与流速为28.8NMH并且含有46.85％CH4和53.15％CO2的第三非渗透流148组合,以形成组合进料流132,该组合进料流由压缩机112压缩。将所得压缩组合进料流134与463.4NMH的含有59.57％CH4和40.43％CO2的第二非渗透流144组合,以在约13.00barg和40℃下产生992.2NMH的含有59.42％CH4和40.58％CO2的加压进料气体流136。将加压进料气体流136进料到第一级膜120,以生成第一非渗透流138和第一渗透流140。

[0115] 同时,将含有95.00％CH4和5.00％CO2的吹扫气体流118进料到第一级膜组件120中。由于吹扫气体流118的引入,仅用系统10中所需面积的75％实现了目标产物组成和目标产物回收率。第一非渗透流138含有98.5％CH4和1.5％CO2,并且作为产物气体被收回。

[0116] 进入第一级渗透压缩机114的第一渗透流140的摩尔流速为696.8NMH。将压缩第一渗透流142进料到第二级膜组件122,以生成第二非渗透流144和第二渗透流146。将第二渗透流146进料到第三级膜组件124。第三级渗透流150(或废物流)被以204.6NMH收回,并且含有仅1.00mol％CH4和99.0％CO2。

[0117] 本发明的范围不受旨在说明本发明的多个方面的实例中公开的具体方面或实施例的限制,并且功能等同的任何实施例都在本发明的范围内。除了本文示出和描述的那些之外,本发明的各种修改对于本领域技术人员来说也将变得显而易见,并且旨在落入所附权利要求的范围内。

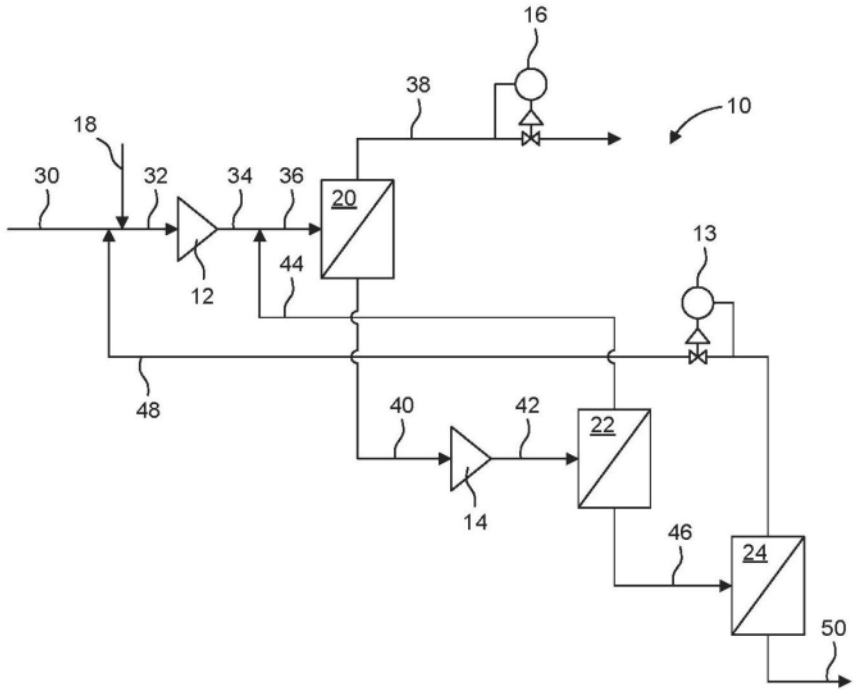

16
38
10
18
30
32
34
36
20
13
44
12
48
40
42
22
14
46
24
50

图1

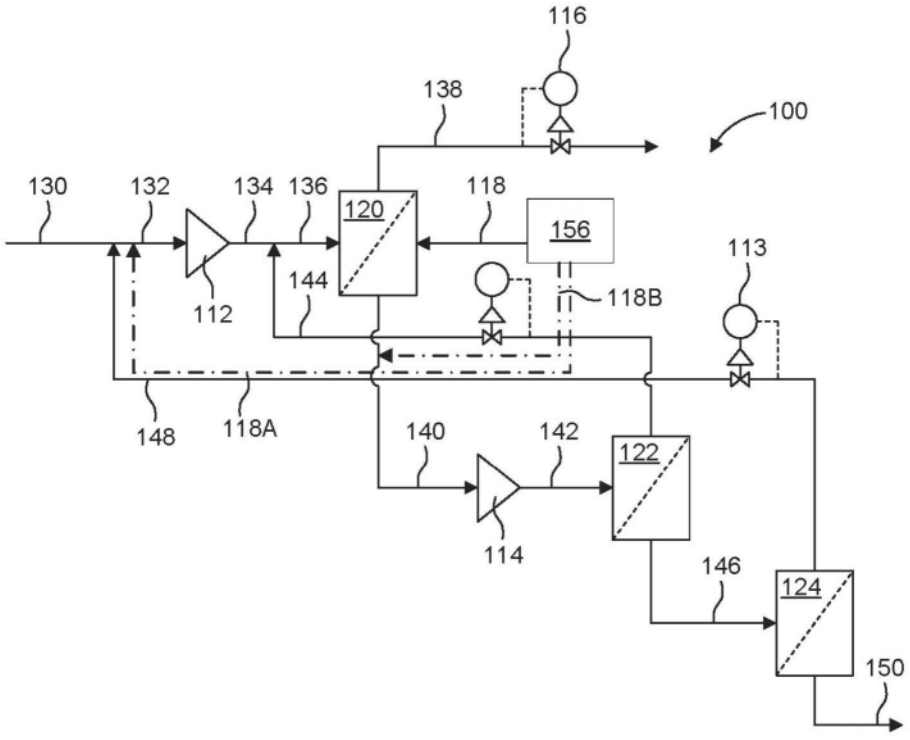

116
138
100
130
132
134
136
120
118
156
113
144
112
118B
148
118A
140
142
122
114
146
124
150

图2

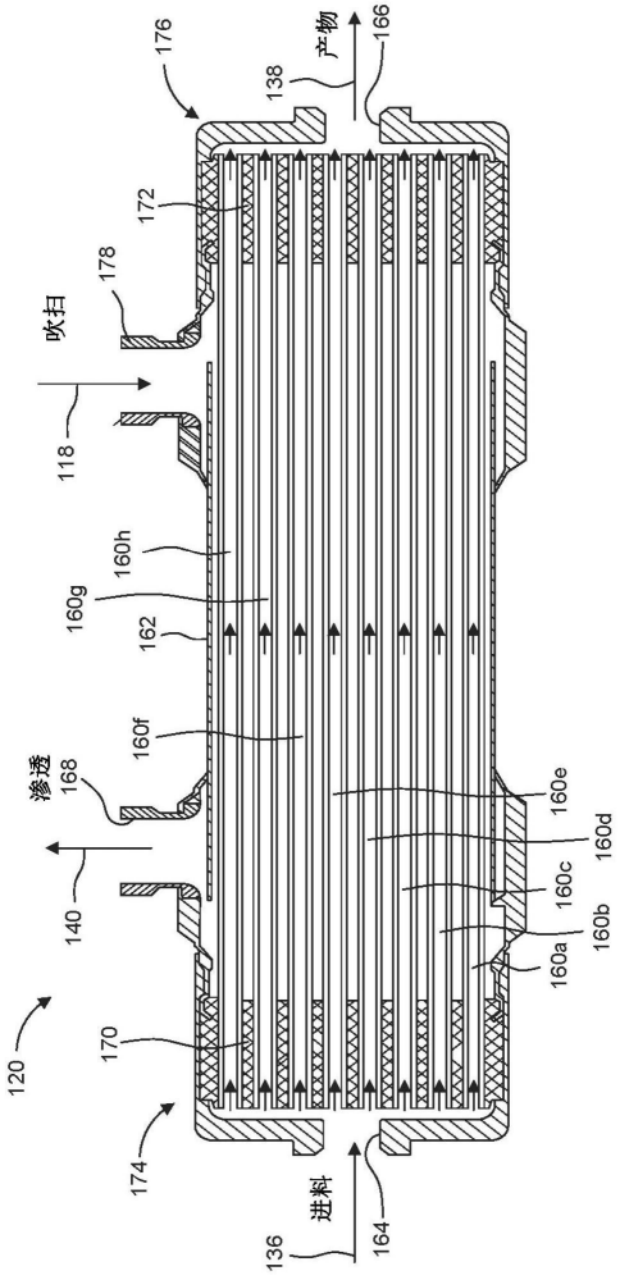
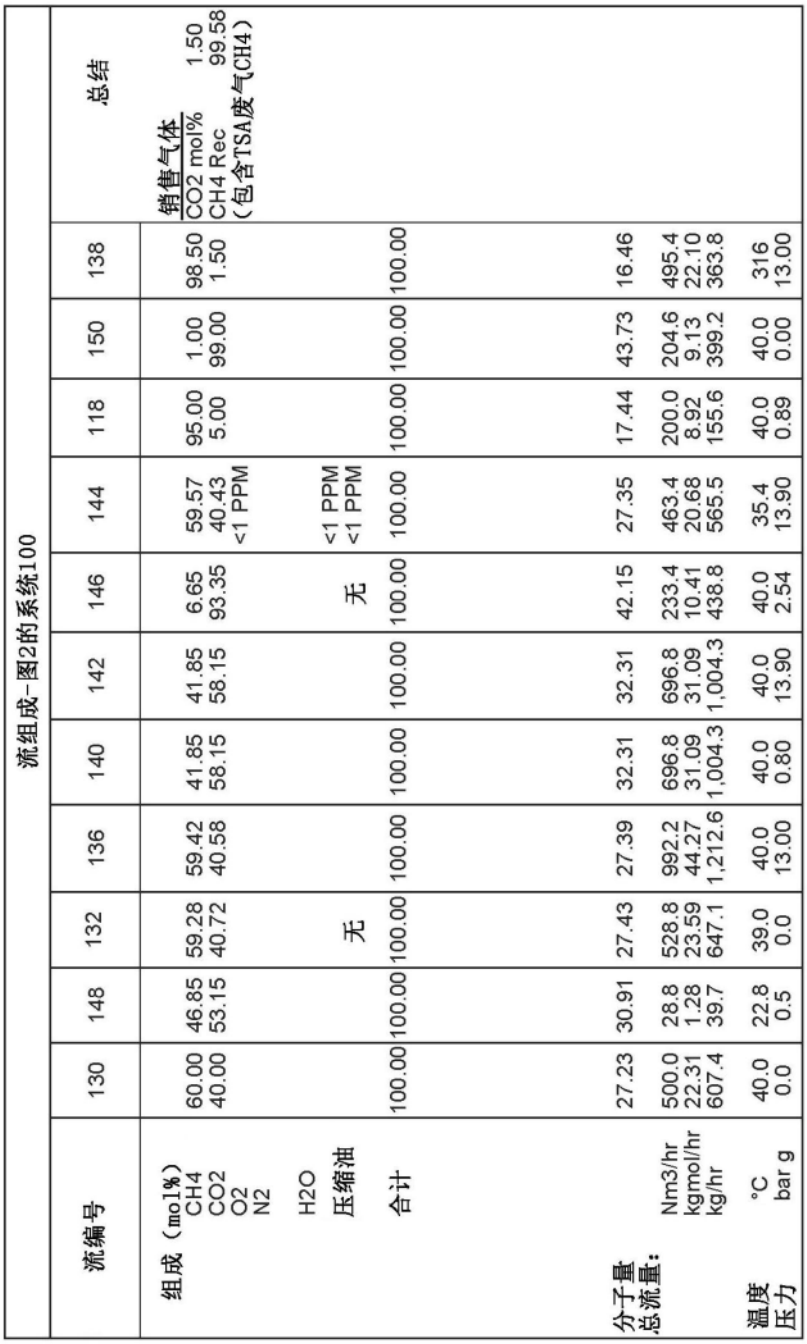

176
138
产物
166
172
178
吹扫
118
160h
160g
162
160f
渗透
168
160e
160d
160c
160b
160a
140
120
170
174
进料
136
164

图3

流组成-图1的系统10

流编号	30	48	32	36	40	42	46	44	18	50	38	总结
组成（mol%）												销售气体
CH4	60.00	56.12	69.61	67.69	35.60	35.60	5.96	62.17	95.00	1.00	98.50	CO2 mol% 1.50
CO2	40.00	43.88	30.39	32.31	64.40	64.40	94.04	37.83	5.00	99.00	1.50	CH4 Rec 99.58
O2								<1 PPM				（包含TSA废气(CH4)
N2								<1 PPM				
H2O												
压缩油			无				无					
合计	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
分子量	27.23	28.31	24.54	25.08	34.05	34.05	42.34	26.62	17.44	43.73	16.46	
总流量： Nm3/hr	500.0	20.2	720.2	971.1	475.7	475.7	224.9	250.8	200.0	204.6	495.4	
kgmol/hr	22.31	0.90	32.13	43.32	21.22	21.22	10.03	11.19	8.92	9.13	22.10	
kg/hr	607.4	25.6	788.6	1086.6	722.7	722.7	424.8	297.9	155.6	399.2	363.8	
温度 °C	40.0	20.0	39.6	40.0	40.0	40.0	40.0	31.8	40.0	39.4	32.9	
压力 bar g	0.0	0.9	0.0	13.00	0.98	13.90	2.73	13.90	0.89	0.00	13.00	

图4



流组成-图2的系统100

流编号		130	148	132	136	140	142	146	144	118	150	138	总结
组成（mol%）													销售气体
	CH4	60.00	46.85	59.28	59.42	41.85	41.85	6.65	59.57	95.00	1.00	98.50	CO2 mol% 1.50
	CO2	40.00	53.15	40.72	40.58	58.15	58.15	93.35	40.43	5.00	99.00	1.50	CH4 Rec 99.58
	O2								<1 PPM				（包含TSA废气(CH4）
	N2												
	H2O								<1 PPM				
	压缩油			无				无	<1 PPM				
	合计	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
分子量		27.23	30.91	27.43	27.39	32.31	32.31	42.15	27.35	17.44	43.73	16.46	
总流量：	Nm3/hr	500.0	28.8	528.8	992.2	696.8	696.8	233.4	463.4	200.0	204.6	495.4	
	kgmol/hr	22.31	1.28	23.59	44.27	31.09	31.09	10.41	20.68	8.92	9.13	22.10	
	kg/hr	607.4	39.7	647.1	1,212.6	1,004.3	1,004.3	438.8	565.5	155.6	399.2	363.8	
温度	°C	40.0	22.8	39.0	40.0	40.0	40.0	40.0	35.4	40.0	40.0	316	
压力	bar g	0.0	0.5	0.0	13.00	0.80	13.90	2.54	13.90	0.89	0.00	13.00	

图5

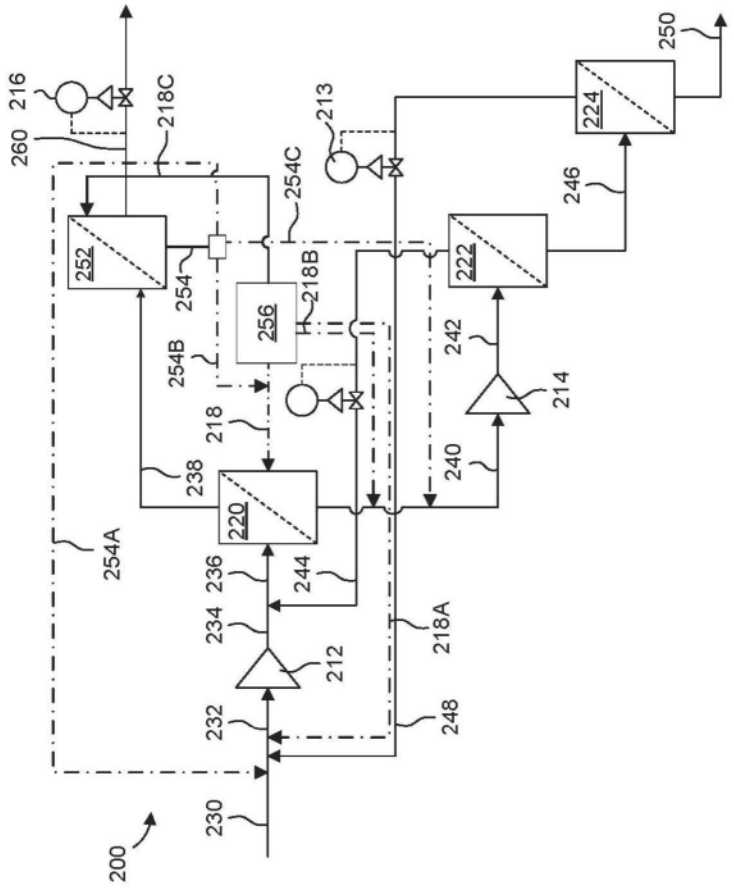

216
260
218C
213
250
224
254C
246
252
254
218B
222
256
254B
242
214
218
238
240
220
254A
236
244
234
218A
212
232
248
230
200

图6