(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 104220367 A
(43)申请公布日 2014.12.17

(21)申请号 201480000569.6

(22)申请日 2014.02.27

(30)优先权数据
61/770,761 2013.02.28 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2014.07.17

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2014/018848 2014.02.27

(87)PCT国际申请的公布数据
WO2014/134246 EN 2014.09.04

(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 W·S·罗林斯 V·E·斯坦

(74)专利代理机构 北京市金杜律师事务所 11256
代理人 吴亦华 郑书发

(51)Int.Cl.
C01B 13/02(2006.01)
C01B 21/04(2006.01)

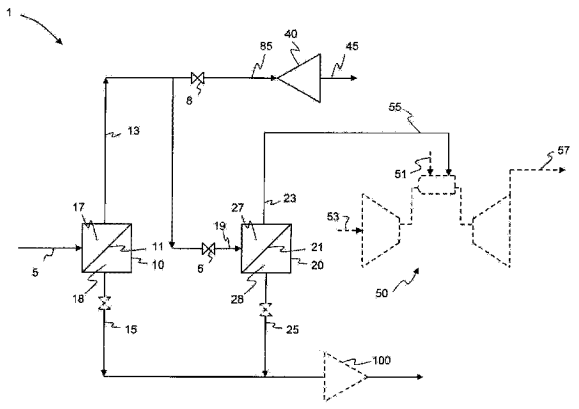
权利要求书3页 说明书11页 附图1页

(54)发明名称

使用离子传输膜生产氧和氮的方法和装置

(57)摘要

本发明提供了使用离子传输膜组件生产氧产物气体和氮产物气体的方法和装置。所述装置包括至少两个离子传输膜组件和在所述离子传输膜组件中之一的下游的涡轮膨胀机。在所述方法中，含氧和氮气体被引入到所述离子传输膜组件中的第一个中以产生贫氧气体和氧产物气体。所述贫氧气体被分割，第一部分在涡轮膨胀机中膨胀而第二部分被引入到所述离子传输膜组件中的第二个中。从第二离子传输膜组件抽出富氮产物气体和另外的氧产物气体。



CN 104220367 A

1. 生产联产物氧和氮流的装置，所述装置包括：

第一离子传输膜组件，其具有用于向所述第一离子传输膜组件中引入包含氧和氮的含氧和氮气体的入口、用于从所述第一离子传输膜组件抽出贫氧气体的第一出口和用于从所述第一离子传输膜组件抽出氧产物气体的第二出口；

涡轮膨胀机，其具有用于向所述涡轮膨胀机中引入涡轮膨胀机进料的入口和用于从所述涡轮膨胀机抽出废气的出口，所述涡轮膨胀机进料由所述贫氧气体的第一部分形成，所述涡轮膨胀机的所述入口与所述第一离子传输膜组件的所述第一出口下游流体流动连通；和

第二离子传输膜组件，其具有用于向所述第二离子传输膜组件中引入进料的入口、用于从所述第二离子传输膜组件抽出氮产物气体的第一出口和用于从所述第二离子传输膜组件抽出氧产物气体的第二出口，所述进料由所述贫氧气体的第二部分形成，所述第二离子传输膜组件的所述入口与所述第一离子传输膜组件的所述第一出口下游流体流动连通；

其中所述第二离子传输膜组件不与所述涡轮膨胀机下游流体流动连通，以及

其中所述涡轮膨胀机不与所述第二离子传输膜组件下游流体流动连通。

2. 根据权利要求 1 所述的装置，所述装置还包括：

氧压缩机，其具有入口和出口，所述氧压缩机的所述入口与以下至少之一下游流体流动连通：所述第一离子传输膜组件的所述第二出口以从所述第一离子传输膜组件接收氧产物气体，和所述第二离子传输膜组件的所述第二出口以从所述第二离子传输膜组件接收氧产物气体。

3. 根据权利要求 1 所述的装置，所述装置还包括：

氧压缩机，其具有入口和出口，所述氧压缩机的所述入口与所述第一离子传输膜组件的所述第二出口下游流体流动连通以从所述第一离子传输膜组件接收氧产物气体，并与所述第二离子传输膜组件的所述第二出口下游流体流动连通以从所述第二离子传输膜组件接收氧产物气体。

4. 根据权利要求 1 所述的装置，所述装置还包括至少一个流动控制装置，所述流动控制装置适于控制去往所述涡轮膨胀机的所述涡轮膨胀机进料的流率和 / 或去往所述第二离子传输膜组件的进料的流率。

5. 根据权利要求 1 所述的装置，所述装置还包括具有燃烧室的气体涡轮燃烧发动机，所述燃烧室具有燃烧区和稀释区，所述气体涡轮燃烧发动机具有用于引入低氧含量稀释气体的入口、用于引入燃料的入口和用于引入含氧气体的入口，所述低氧含量稀释气体由所述氮产物气体形成，所述燃烧区和 / 或所述稀释区与所述第二离子传输膜组件的所述第一出口下游流体流动连通以接收由所述氮产物气体形成的所述低氧含量稀释气体。

6. 生产联产物氧和氮流的方法，所述方法包括：

提供权利要求 1 所述的装置；

向所述第一离子传输膜组件的所述入口中引入所述包含氧和氮的含氧和氮气体，所述含氧和氮气体具有 750℃至 950℃的温度和 689kPa 至 4136kPa 的压力，从所述第一离子传输膜组件的所述第一出口抽出所述贫氧气体，并从所述第一离子传输膜组件的所述第二出口抽出第一氧产物气体；

将所述贫氧气体分割成所述第一部分和所述第二部分；

使由所述贫氧气体的所述第一部分形成的所述涡轮膨胀机进料在所述涡轮膨胀机中膨胀以回收轴功或电能并从所述涡轮膨胀机提供所述废气；和

向所述第二离子传输膜组件的所述入口中引入由所述贫氧气体的所述第二部分形成的进料，从所述第二离子传输膜组件抽出具有 689kPa 至 4136kPa 的压力的氮产物气体，并从所述第二离子传输膜组件的所述第二出口抽出氧产物气体。

7. 使用权利要求 1 所述的装置生产联产物氧和氮流的方法，所述方法包括：

向所述第一离子传输膜组件的所述入口中引入所述包含氧和氮的含氧和氮气体，所述含氧和氮气体具有 750℃至 950℃的温度和 689kPa 至 4136kPa 的压力，从所述第一离子传输膜组件的所述第一出口抽出贫氧气体，并从所述第一离子传输膜组件的所述第二出口抽出氧产物气体；

将所述贫氧气体分割成所述第一部分和所述第二部分；

使由所述贫氧气体的所述第一部分形成的所述涡轮膨胀机进料在所述涡轮膨胀机中膨胀以回收轴功或电能并从所述涡轮膨胀机提供所述废气；和

向所述第二离子传输膜组件的所述入口中引入由所述贫氧气体的所述第二部分形成的进料，从所述第二离子传输膜组件抽出具有 689kPa 至 4136kPa 的压力的所述氮产物气体，并从所述第二离子传输膜组件的所述第二出口抽出氧产物气体。

8. 权利要求 7 所述的方法，其中将来自所述第一离子传输膜组件的氧产物气体的压力调节为与来自所述第二离子传输膜组件的氧产物气体的压力相差在 20kPa 内。

9. 权利要求 7 所述的方法，所述方法还包括：

选择所述含氧和氮气体的工作压力范围；

选择来自所述第一离子传输膜组件的氧产物气体的工作压力范围；

选择来自所述第二离子传输膜组件的氧产物气体的工作压力范围；

选择去往所述第二离子传输膜组件的进料的工作压力范围；

选择所述第一离子传输膜组件的工作温度范围；和

选择所述第二离子传输膜组件的工作温度范围；

其中所述第一离子传输膜组件包括第一数量的膜单元，所述第二离子传输膜组件包括第二数量的膜单元，并且其中所述第一数量的膜单元和所述第二数量的膜单元各自以针对所述含氧和氮气体的所述选定工作压力范围、来自所述第一离子传输膜组件的所述氧产物气体的选定工作压力范围、来自所述第二离子传输膜组件的所述氧产物气体的选定工作压力范围、去往所述第二离子传输膜组件的进料的选定工作压力范围、所述第一离子传输膜组件的选定工作温度范围和所述第二离子传输膜组件的所述工作温度范围足以提供氧浓度小于约 2 摩尔％氧的氮产物气体的数量提供。

10. 权利要求 7 所述的方法，其中去往所述第二离子传输膜组件的进料具有摩尔流率，并且其中所述第一离子传输膜组件包括第一数量的膜单元，所述第二离子传输膜组件包括第二数量的膜单元，其中所述第一数量的膜单元和所述第二数量的膜单元足以提供氧浓度小于约 2 摩尔％氧的氮产物气体，所述方法还包括：

调节所述含氧和氮气体的压力；

调节来自所述第一离子传输膜组件的氧产物气体的压力；

调节来自所述第二离子传输膜组件的第二氧产物气体的压力；

调节去往所述第二离子传输膜组件的进料的压力；

调节所述第一离子传输膜组件中的温度；和

调节所述第二离子传输膜组件中的温度；

其中调节所述含氧和氮气体的压力、来自所述第一离子传输膜组件的氧产物气体的压力、来自所述第二离子传输膜组件的氧产物气体的压力、去往所述第二离子传输膜组件的进料的压力、所述第一离子传输膜组件中的温度和所述第二离子传输膜组件中的温度以针对去往所述第二离子传输膜组件的进料的摩尔流率提供氧浓度小于约 2 摩尔％氧的氮产物气体。

11. 权利要求 7 所述的方法，所述方法还包括向气体涡轮机的燃烧室中引入低氧含量稀释气体，所述低氧含量稀释气体由所述氮产物气体形成。

使用离子传输膜生产氧和氮的方法和装置

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求2013年2月28日提交的标题为“Porcess and Apparatus for Producing Oxygen and Nitrogen using Ion Transport Membranes(使用离子传输膜生产氧和氮的方法和装置)”的美国临时专利申请序列号61/770,761的优先权,该临时专利申请以引用方式并入本文。

[0003] 关于联邦政府资助的研究或开发的声明

[0004] 本发明根据气体产品和化学公司(Air Products and Chemicals,Inc.)与美国能源部之间的合作协议第DE-FC26-98FT40343号在政府支持下进行。美国政府对本发明享有一定权利。

背景技术

[0005] 通过使用混合传导多组分金属氧化物膜,可以在高温下分离空气产生高纯度氧。这些膜通过氧离子的选择性传输来操作并可以描述为离子传输膜。离子传输膜中使用的混合传导多组分金属氧化物材料传导氧离子和电子二者,其中经传输的氧离子在膜的产物侧重新结合以形成氧气。

[0006] 离子传输膜分离系统的进料气为含有氧和氮的气体(例如,空气),所述气体在膜系统之前被压缩并加热到通常在0.7MPa(100psia)至4.1MPa(60psia)范围的压力和通常在750℃至950℃范围的温度。一部分进料气传输通过膜并作为热的高纯度氧产品进行回收。进料气的剩余部分是氧部分贫化的并仍然含有显著量的热和压力能。

[0007] 所述热的、加压的贫氧气体可用在众多工艺应用中。例如,可在膨胀涡轮机中回收所述气体中的显著量的热和压力能以改善产氧的总体经济学。可以将离子传输膜系统与气体涡轮机(燃燃烧涡轮机)系统在各种工艺布置中进行集成,以优化两种系统的运行。

[0008] 适于生产吨量级氧的离子传输膜(ITM)系统使用混合传导多组分金属氧化物膜材料,所述材料基于进给侧和产物侧之间氧分压的差异来传输氧。因此,在进料中氧分压等于产物中氧分压时,发生最大理论氧回收,并且需要无限的膜面积来达到此条件。例如,当纯氧产物在103kPa(15psia)(pO_2 = 103kPa(15psia))下并且具有20摩尔%氧(pO_2 = 413kPa(60psia))的含氧和氮的进气在2068kPa(300psia)下时,在贫氧气流中仅剩余5摩尔%的氧时发生最大理论氧回收。作为实际的经济问题,贫氧流很可能含有多若干摩尔%的氧。因此,难以设计ITM系统来产生具有低氧含量的高压氮产物,并且从贫氧流去除最后百分之几的氧可能需要非常大的膜表面积。

[0009] ITM系统的协同应用涉及到集成气化组合循环(IGCC)工厂,其通常需要大量的氧以便气化并需要大量的富氮气体以用作稀释剂来控制气体涡轮机中NOx形成。这种稀释剂氮流的典型最大氧含量为约2摩尔%,但是在使用替代的燃烧控制策略例如控制NOx的一些应用中可采用最高16摩尔%的浓度。一种实现氧水平小于约2摩尔%的途径是简单地伸展总压力的界限(即增加ITM进料气的压力和/或减小氧产物的压力)直至在合理的膜面积需求下贫氧流达到所需的氧含量。这种策略导致显著增加资本和操作成本以用于主要

的辅助设备，例如要求更高压力比的空气和 / 或氧压缩机、更大的压缩机驱动电机、高温热交换器的更高压力等级或氧冷却设备和管道的更低允许压降。实现氧水平小于约 2 摩尔％的另一替代方法在授予 Keskar 等人的 EP 0 916 385 中进行论述，其中来自离子传输分离器的滞留物流被送到经反应性吹扫的离子传输分离器。所述经反应性吹扫的离子传输分离器起到脱氧单元的作用，其通过离子传输将残余的氧分离到阳极侧，在这里，所述氧与燃料吹扫流反应产生非常低的氧分压并从而增强氧移除。

[0010] 本领域中需要改进的联产高纯度氧产物和富氮产物的离子传输膜方法和系统。还需要通过从来自离子传输膜系统的任何热的加压的流出气流中回收能量来使这些方法的总效率最大化。这些需求通过下文描述且由附随的权利要求限定的本发明实施方式得以解决。

发明内容

[0011] 本发明涉及使用离子传输膜生产氧和氮的装置和方法。

[0012] 所述装置和方法有如下概述的若干方面。括号中给出的附图标记号和表达涉及下文参考附图进一步说明的示例性实施方式。然而，所述附图标记号和表达仅是示意性的而不是将所述方面限于示例性实施方式的任何特定部件或特征。所述方面可阐述为权利要求，在其中，括号中给出的附图标记号和表达视情况被略去或被其它的所替代。

[0013] 方面 1、生产联产物氧和氮流的装置，所述装置包括 ：

[0014] 第一离子传输膜组件 (10)，其具有用于向第一离子传输膜组件 (10) 中引入包含氧和氮的含氧和氮气体 (5) 的入口、用于从第一离子传输膜组件 (10) 抽出贫氧气体 (13) 的第一出口和用于从第一离子传输膜组件 (10) 抽出氧产物气体 (15) 的第二出口 ；

[0015] 涡轮膨胀机 (40)，其具有用于向涡轮膨胀机 (40) 中引入涡轮膨胀机进料 (85) 的入口和用于从涡轮膨胀机 (40) 抽出废气 (45) 的出口，所述涡轮膨胀机进料由贫氧气体 (13) 的第一部分形成，所述涡轮膨胀机 (40) 的入口与第一离子传输膜组件 (10) 的第一出口下游流体流动连通 ；和

[0016] 第二离子传输膜组件 (20)，其具有用于向第二离子传输膜组件 (20) 中引入进料 (19) 的入口、用于从第二离子传输膜组件 (20) 抽出氮产物气体 (23) 的第一出口和用于从第二离子传输膜组件 (20) 抽出氧产物气体 (25) 的第二出口，所述进料由贫氧气体 (13) 的第二部分形成，第二离子传输膜组件 (20) 的入口与第一离子传输膜组件 (10) 的第一出口下游流体流动连通 ；

[0017] 其中所述第二离子传输膜组件 (20) 不与所述涡轮膨胀机 (40) 下游流体流动连通，和

[0018] 其中所述涡轮膨胀机 (40) 不与所述第二离子传输膜组件 (20) 下游流体流动连通。

[0019] 方面 2、方面 1 的装置，还包括 ：

[0020] 氧压缩机 (100)，其具有入口和出口，氧压缩机 (100) 的入口与以下至少之一下游流体流动连通 ：第一离子传输膜组件 (10) 的第二出口以从第一离子传输膜组件 (10) 接收氧产物气体 (15)，和第二离子传输膜组件 (20) 的第二出口以从第二离子传输膜组件 (20) 接收氧产物气体 (25)

[0021] 方面 3、方面 1 的装置，还包括 ：

[0022] 氧压缩机 (100)，其具有入口和出口，氧压缩机 (100) 的入口与第一离子传输膜组件 (10) 的第二出口下游流体流动连通以从第一离子传输膜组件 (10) 接收氧产物气体 (15)，并与第二离子传输膜组件 (20) 的第二出口下游流体流动连通以从第二离子传输膜组件 (20) 接收氧产物气体 (25)。

[0023] 方面 4、方面 1 至 3 中任一方面的装置，还包括至少一个流动控制装置 (6,8)，其适于控制去往涡轮膨胀机 (40) 的涡轮膨胀机进料 (85) 的流率和 / 或去往第二离子传输膜组件 (20) 的进料 (19) 的流率。

[0024] 方面 5、方面 1 至 4 中任一方面的装置，还包括具有燃烧室的气体涡轮燃烧发动机 (50)，所述燃烧室具有燃烧区和燃烧区下游的稀释区，所述气体涡轮燃烧发动机 (50) 具有用于引入低氧含量稀释气体 (55) 的入口、用于引入燃料 (51) 的入口和用于引入含氧气体 (53) 的入口，所述低氧含量稀释气体 (55) 由氮产物气体 (23) 形成，所述燃烧区和 / 或稀释区与第二离子传输膜组件 (20) 的第一出口下游流体流动连通以接收由氮产物气体 (23) 形成的低氧含量稀释气体 (55)。

[0025] 方面 6、生产联产物氧和氮流的方法，所述方法包括 ：

[0026] 提供方面 1 至 5 中任一方面的装置 ；

[0027] 向第一离子传输膜组件 (10) 的入口中引入包含氧和氮的含氧和氮气体 (5)，所述含氧和氮气体 (5) 具有 750℃至 950℃的温度和 689kPa 至 4136kPa 的压力，从第一离子传输膜组件 (10) 的第一出口抽出贫氧气体 (13)，和从第一离子传输膜组件 (10) 的第二出口抽出第一氧产物气体 (15) ；

[0028] 将贫氧气体 (13) 分割成第一部分和第二部分 ；

[0029] 使由贫氧气体 (13) 的第一部分形成的涡轮膨胀机进料 (85) 在涡轮膨胀机 (40) 中膨胀以回收轴功或电能并从涡轮膨胀机 (40) 提供废气 (45) ；和

[0030] 向第二离子传输膜组件 (20) 的入口中引入由贫氧气体 (13) 的第二部分形成的进料 (19)，从第二离子传输膜组件 (20) 抽出具有 689kPa 至 4136kPa 的压力的氮产物气体 (23)，和从第二离子传输膜组件 (20) 的第二出口抽出氧产物气体 (25)。

[0031] 方面 7、使用方面 1 至 5 中任一方面的装置生产联产物氧和氮流的方法，所述方法包括 ：

[0032] 向第一离子传输膜组件 (10) 的入口中引入包含氧和氮的含氧和氮气体 (5)，所述含氧和氮气体具有 750℃至 950℃的温度和 689kPa 至 4136kPa 的压力，从第一离子传输膜组件的第一出口抽出贫氧气体，和从第一离子传输膜组件 (10) 的第二出口抽出氧产物气体 (15) ；

[0033] 将贫氧气体 (13) 分割成第一部分和第二部分 ；

[0034] 使由贫氧气体的第一部分形成的涡轮膨胀机进料在涡轮膨胀机中膨胀以回收轴功或电能并从涡轮膨胀机提供废气 ；和

[0035] 向第二离子传输膜组件的入口中引入由贫氧气体的第二部分形成的进料，从第二离子传输膜组件抽出具有 689kPa 至 4136kPa 的压力的氮产物气体，和从第二离子传输膜组件的第二出口抽出氧产物气体 (25)。

[0036] 方面 8、方面 6 或方面 7 的方法，还包括 ：

[0037] 选择含氧和氮气体 (5) 的工作压力范围 ;

[0038] 选择来自第一离子传输膜组件 (10) 的氧产物气体 (15) 的工作压力范围 ;

[0039] 选择来自第二离子传输膜组件 (20) 的氧产物气体 (25) 的工作压力范围 ;

[0040] 选择去往第二离子传输膜组件 (20) 的进料 (19) 的工作压力范围 ;

[0041] 选择第一离子传输膜组件 (10) 的工作温度范围 ;和

[0042] 选择第二离子传输膜组件 (20) 的工作温度范围 ;

[0043] 其中所述第一离子传输膜组件 (10) 包括第一数量的膜单元,所述第二离子传输膜组件 (20) 包括第二数量的膜单元,并且其中所述第一数量的膜单元和所述第二数量的膜单元各自以针对含氧和氮气体 (5) 的选定工作压力范围、来自第一离子传输膜组件 (10) 的氧产物气体的选定工作压力范围、来自第二离子传输膜组件 (20) 的氧产物气体的选定工作压力范围、去往第二离子传输膜组件 (20) 的进料 (19) 的选定工作压力范围、第一离子传输膜组件 (10) 的选定工作温度范围和第二离子传输膜组件 (20) 的工作温度范围足以提供氧浓度小于约 2 摩尔%氧的氮产物气体 (23) 的数量提供。

[0044] 方面 9、方面 6 至 8 中任一方面的方法,其中去往第二离子传输膜组件 (20) 的进料 (19) 具有摩尔流率,并且其中所述第一离子传输膜组件 (10) 包括第一数量的膜单元,所述第二离子传输膜组件 (20) 包括第二数量的膜单元,其中所述第一数量的膜单元和所述第二数量的膜单元足以提供氧浓度小于约 2 摩尔%氧的氮产物气体 (23),所述方法还包括 :

[0045] 调节含氧和氮气体 (5) 的压力 ;

[0046] 调节来自第一离子传输膜组件 (10) 的氧产物气体 (15) 的压力 ;

[0047] 调节来自第二离子传输膜组件 (20) 的第二氧产物气体 (25) 的压力 ;

[0048] 调节去往第二离子传输膜组件 (20) 的进料 (19) 的压力 ;

[0049] 调节第一离子传输膜组件 (10) 中的温度 ;和

[0050] 调节第二离子传输膜组件 (20) 中的温度 ;

[0051] 其中调节含氧和氮气体 (5) 的压力、来自第一离子传输膜组件 (10) 的氧产物气体 (15) 的压力、来自第二离子传输膜组件 (20) 的氧产物气体 (25) 的压力、去往第二离子传输膜组件 (20) 的进料 (19) 的压力、第一离子传输膜组件 (10) 中的温度和第二离子传输膜组件 (20) 中的温度以针对去往第二离子传输膜组件 (20) 的进料 (19) 的摩尔流率提供氧浓度小于约 2 摩尔%氧的氮产物气体 (23)。

[0052] 方面 10、方面 6 至 9 中任一方面的方法,还包括向气体涡轮机 (50) 的燃烧室中引入低氧含量稀释气体 (55),所述低氧含量稀释气体 (55) 由氮产物气体 (23) 形成。

[0053] 方面 11、方面 11 的方法,其中所述低氧含量稀释气体 (55) 由氮产物气体 (23) 形成而不压缩氮产物气体 (23)。

[0054] 方面 12、方面 6 至 11 中任一方面的方法,其中将来自第一离子传输膜组件 (10) 的氧产物气体 (25) 的压力调节为与来自第二离子传输膜组件 (20) 的氧产物气体的压力相差在 20kPa 内。

附图说明

[0055] 唯一的附图为本发明的实施方式的示意性流程图。

具体实施方式

[0056] 本发明涉及生产氧产物和氮产物的方法和装置。所述氧产物可用在例如气化器中，而所述氮产物可用于例如气体涡轮机中的 NOx 控制。

[0057] 下面的定义用于本文给出的本发明实施方式的描述中使用的术语。

[0058] 如本文所用，当应用于说明书和权利要求书中所描述的本发明实施方式中的任何特征时，不以数量词修饰是指一个或多个。不以数量词修饰不将含义限于单个特征，除非明确指出这样的限制。单数或复数名词或名词短语前面的定冠词“所述 / 该 (the)”表示一个或多个特定的指定特征，并根据使用其的上下文可以具有单数或复数涵义。形容词“任何”是指不受限制的任何数量的一个、一些或全部。术语“和 / 或”置于第一实体和第二实体之间是指以下之一 :(1) 第一实体、(2) 第二实体和 (3) 第一实体和第二实体。术语“和 / 或”置于 3 个或更多个实体的列举的最后两个实体之间是指所列举的实体中的至少一个。

[0059] 短语“至少一部分”是指“一部分或全部”。流的至少一部分可以与其所源自的流具有相同的组成。流的至少一部分可以包含其所源自的流的特定组分。

[0060] 如本文所用，流的“分割部分”为与其所取自的流具有相同化学组成的部分。

[0061] 如本文所用，“多个”指两个或更多个。

[0062] 如本文所用，“流体流动连通”指由一个或多个导管、歧管、阀等操作性地连接来转移流体。导管为流体可以通过其进行传送的任何管道、管、通道等。除非另外明确指出，流体流动连通的第一装置和第二装置之间可以存在中间装置如泵、压缩机或容器。

[0063] “下游”和“上游”是指被转移的工艺流体的意欲流动方向。如果工艺流体的意欲流动方向是从第一装置到第二装置，则第二装置与第一装置下游流体流动连通。

[0064] 离子传输膜层为陶瓷膜材料的活性层，其包含能够在升高的温度下传输或渗透氧离子的混合金属氧化物。离子传输膜层也可以既传输电子又传输氧离子，并且这种类型的离子传输膜层通常被描述为混合导体膜层。离子传输膜层还可以包含一种或多种单质金属从而形成复合膜。

[0065] 所述膜层非常薄，通常由多孔层支承结构和 / 或带肋支承结构支承。支承结构通常由相同的材料（即其具有相同的化学组成）制成以避免热膨胀错配。然而，支承结构可以包含与膜层不同的化学组成。

[0066] 膜单元，也称膜结构，包括进料区、氧产物区以及设置在进料区和氧产物区之间的膜层。含氧和氮气体被送往进料区并与膜层的一侧接触，氧传输通过膜层，而贫氧气体从进料区抽出。氧气产物，其可以含有至少 99.0 体积％的氧，从膜单元的氧产物区抽出。膜单元可以具有本领域已知的任何结构。当膜单元具有平面结构时，它通常被称为“晶片”。

[0067] 膜模块，有时称为“膜堆”，包括多个膜单元。膜模块可具有本领域已知的任何结构。

[0068] “离子传输膜组件”，也称“离子传输膜系统”，包括一个或多个膜模块、容纳所述一个或多个膜模块的压力容器以及为引入一个或多个进料流和抽出由所述一个或多个进料流形成的两个或更多个流出物流所必需的任何附加部件。所述附加部件可以包括本领域已知的一个或多个流动限制管、绝缘体、歧管等。当使用了两个或更多个膜模块时，离子传输膜组件中的所述两个或更多个膜模块可以并联和 / 或串联布置。

[0069] 示例性的离子传输膜层、膜单元、膜模块和离子传输膜组件（系统）描述在美国专

利 5,681,373 和 7,179,323 中描述，二者通过引用整体并入本文中。

[0070] 参照附图，所述装置包括多个离子传输膜组件，所述多个离子传输膜组件包括第一离子传输膜组件 10 和第二离子传输膜组件 20。第一离子传输膜组件 10 具有用于向第一离子传输膜组件 10 中引入含氧和氮气体 5 的入口、用于从第一离子传输膜组件 10 抽出贫氧气体 13 的第一出口和用于从第一离子传输膜组件 10 抽出氧产物气体 15 的第二出口。

[0071] 所述装置还包括涡轮膨胀机 40，其具有用于向涡轮膨胀机 40 中引入涡轮膨胀机进料 85 的入口和用于从涡轮膨胀机 40 抽出废气 45 的出口，所述涡轮膨胀机进料 85 由贫氧气体 13 的第一部分形成。涡轮膨胀机 40 的入口与第一离子传输膜组件 10 的第一出口下游流体流动连通。在第一离子传输膜组件 10 和涡轮膨胀机 40 之间操作性地设置导管以在所述装置之间提供流体流动连通。可以从来自涡轮膨胀机 40 的废气 45 中回收热。

[0072] 涡轮膨胀机，也称涡轮扩张器、热气体膨胀机或膨胀涡轮机，为通过其使在第一较高压力下的气体膨胀以产生功和在第二较低压力下的气体的任何装置。涡轮膨胀机产生的功可以用来驱动压缩机、发电机或本领域已知的其它合适装置。

[0073] 涡轮膨胀机进料由贫氧气体 13 的第一部分形成，这意味着使用所述第一部分来形成涡轮膨胀机进料 85。涡轮膨胀机进料可为贫氧气体 13 的分割部分，其中所述涡轮膨胀机进料与从第一离子传输膜组件 10 抽出的贫氧气体具有相同的组成。

[0074] 第二离子传输膜组件 20 具有用于向第二离子传输膜组件 20 中引入进料 19 的入口、所述进料 19 由贫氧气体 13 的第二部分形成。第二离子传输膜组件 20 具有用于从第二离子传输膜组件 20 抽出氮产物气体 23 的氮产物出口和用于从第二离子传输膜组件 20 抽出氧产物气体 25 的另一出口。第二离子传输膜组件 20 的入口与第一离子传输膜组件 10 的第一出口下游流体流动连通。在第一离子传输膜组件 10 和第二离子传输膜组件 20 之间操作性地设置导管以在所述装置之间提供流体流动连通。

[0075] 去往第二离子传输膜组件 20 的进料 19 由贫氧气体 13 的第二部分形成，这意味着使用所述第二部分来形成去往第二离子传输膜组件 20 的进料。去往第二离子传输膜组件 20 的进料 19 可以为贫氧气体 13 的分割部分，其中所述进料与从第一离子传输膜组件 10 抽出的贫氧气体具有相同的组成。

[0076] 如图中所示，去往涡轮膨胀机 40 的进料和去往第二离子传输膜组件 20 的进料由贫氧气体 13 的分开的部分形成。第二离子传输膜组件 20 不与涡轮膨胀机 40 下游流体流动连通并且涡轮膨胀机 40 不与第二离子传输膜组件 20 下游流体流动连通。

[0077] 所述装置还可以包括任选的氧压缩机 100。氧压缩机 100 具有入口和出口。氧压缩机的入口与以下至少之一下游流体流动连通：第一离子传输膜组件 10 的第二出口以从第一离子传输膜组件 10 接收氧产物气体，和第二离子传输膜组件 20 的第二出口以从第二离子传输膜组件 20 接收氧产物气体。氧压缩机 100 可以与第一离子传输膜组件 10 的第二出口和第二离子传输膜组件 20 的第二出口二者下游流体流动连通。

[0078] 附图显示了其中来自第一离子传输膜组件 10 的氧产物气体和来自第二离子传输膜组件 20 的氧产物气体二者被送往共用的压缩机 100 的实施方式。操作性地设置与第一离子传输膜组件 10 的第二出口下游流体流动连通的导管来从第一离子传输膜组件 10 接收氧产物气体。操作性地设置与第二离子传输膜组件 20 的第二出口下游流体流动连通的另一导管来从第二离子传输膜组件 20 接收氧产物气体。操作性地设置又一导管，与这两个另

外的导管下游流体流动连通以接收来自第一离子传输膜组件 10 的氧产物气体和来自第二离子传输膜组件 20 的氧产物气体二者。如图中所示，氧压缩机 100 具有与用来接收来自第一离子传输膜组件和第二离子传输膜组件二者的氧产物气体的导管下游流体流动连通的入口。

[0079] 所述装置还可以包括至少一个流动控制装置 6、8，其适于控制去往涡轮膨胀机 40 的涡轮膨胀机进料 85 的流率和 / 或去往第二离子传输膜组件 20 的进料的流率。可在装置中任何合适的位置安装一个或多个流动控制装置以改变去往涡轮膨胀机 40 和第二离子传输膜 20 的贫氧气体的划分。

[0080] 所述装置还可以包括具有燃烧室的气体涡轮燃烧发动机 50，所述燃烧室具有燃烧区和稀释区。所述燃烧区和 / 或稀释区可以与第二离子传输膜组件 20 的氮产物气体出口下游流体流动连通以向气体涡轮燃烧发动机 50 的燃烧区和 / 或稀释区中进给来自第二离子传输膜组件 20 的氮产物气体。气体涡轮燃烧发动机 50 还可以具有用于引入燃料 51 的入口、用于引入含氧气体 53 的入口和用于排放废气 57 的排气装置。气体涡轮燃烧发动机可商购获得。

[0081] 参照附图对所述方法进行描述。

[0082] 所述方法包括向第一离子传输膜组件 10 中引入包含氧和氮并且具有 750℃至 950℃的温度和 689kPa(100psia) 至 4136kPa(600psia) 的压力的含氧和氮气体。含氧和氮气体定义为至少包含氧和氮并可以含有其它组分例如氩、二氧化碳、一氧化碳和 / 或水的气体。可以使用已知用于离子传输膜组件的任何含氧和氮气体。含氧和氮气体可以为例如空气、贫氧气体或富氧气体。含氧和氮气体可以为来自贫燃料进行操作的燃烧室的排气（并因此具有比燃烧所有燃料所需的氧过量的氧）。

[0083] 含氧和氮气体中的氧传输通过一个或多个膜单元以在所述一个或多个膜单元的进料侧形成贫氧气体并在所述一个或多个膜单元的产物侧形成氧产物气体。所述方法包括从第一离子传输膜组件抽出贫氧气体，并从第一离子传输膜组件 10 抽出氧产物气体以提供总氧产物的一部分。可以操作所述方法使得在约 689kPa(100psia) 至约 4136kPa(600psia) 的压力和 750℃至 950℃的温度下抽出贫氧气体。可以操作所述方法使得在进行任何再压缩步骤以达到最终使用压力之前在约 20kPa(3psia) 至约 172kPa(25psia) 的压力下抽出氧产物气体。

[0084] 所述方法然后包括将贫氧气体 13 分割成至少第一部分和第二部分。如果需要，可以将贫氧气体 13 分割成另外的部分。所述第一部分可以为第一分割部分。所述第二部分可以为第二分割部分。可以通过本领域已知的任何合适的装置来分割贫氧气体，例如“T”接头、歧管等。作为替代方案，可以通过从第一离子传输膜组件 10 提供超过一个出口来分割贫氧气体。

[0085] 所述方法包括在涡轮膨胀机 40 中膨胀涡轮膨胀机进料 85 以回收轴功或电能并从涡轮膨胀机 40 中提供废气流 45。涡轮膨胀机进料 85 由贫氧气体 13 的第一部分形成。

[0086] 所述方法还包括向第二离子传输膜组件 20 中引入由贫氧气体 13 的第二部分形成的进料 19。由贫氧气体的第二部分形成的进料可以具有 750℃至 950℃的温度和约 689kPa(100psia) 至约 4136kPa(600psia) 的压力。进料中的氧传输通过第二离子传输膜组件 20 中的一个或多个膜单元以在第二离子传输膜组件 20 的所述一个或多个膜单元的进

料侧形成富氮气体并在第二离子传输膜组件 20 的所述一个或多个膜单元的产物侧形成第二氧产物气体。所述方法包括从第二离子传输膜组件 20 抽出具有约 689kPa(100psia) 至约 4136kPa(600psia) 的压力的氮产物气体 23 并从第二离子传输膜组件 20 的第二出口抽出氧产物气体 25。

[0087] 可以操作所述方法例如使得氮产物气体中的氧浓度小于约 2 摩尔％氧。具有小于约 2 摩尔％氧的氮产物气体可以适于用作稀释剂来控制气体涡轮机（也称燃烧涡轮机）中 NOx 的形成，所述控制通过直接向气体涡轮机燃烧室或气体涡轮机机匣中引入氮产物气体，或者通过首先将氮产物气体与另一流如压缩空气流的一部分或与燃料流混合，然后向气体涡轮机燃烧室中引入该混合流而间接地向气体涡轮机燃烧室中引入氮产物气体来实现。

[0088] 生产具有小于约 2 摩尔％氧的氮可以通过将在第二离子传输膜组件 20 中处理的贫氧气体的第二部分限制到仅产生所需氮产物流率所需要的量来促进。这种布置将需要比将全部的初始含氧和氮气体处理至小于约 2 摩尔％氧相比更小的膜面积。

[0089] 从流中各种物质的质量平衡，熟练的技术人员可以确定进入和离开第一离子传输膜组件 10 和第二离子传输膜组件 20 的各种流的流率和组成。从第一离子传输膜组件去往第二离子传输膜组件的贫氧气体的第二部分的流率可以由此质量平衡确定。

[0090] 一旦知道进给到各个离子传输膜组件的含氧和氮气体的流率和组成以及来自各个离子传输膜组件的各氧产物流率，本领域技术人员即可以确定所需的膜表面积或所需的膜单元或模块数。可以使用模型来预测在给定的工艺条件集合下每单位面积的膜的氧通量。合适的模型可在文献中得到。

[0091] 一般地，来自膜组件的氧产量可以通过增大膜表面积（例如，增加膜单元）或增大通过组件中的膜单元的氧通量来提高。通过第一组件中的膜的氧通量可以通过增大含氧和氮进料气的压力和 / 或减小氧产物压力和 / 或提高组件中膜单元的温度来提高。类似地，可以根据需要调节压力和 / 或温度来增大或减小通过第二离子传输膜组件中的膜单元的氧通量。

[0092] 所述方法还可以包括选择含氧和氮气体、来自第一离子传输膜组件的氧产物气体、来自第二离子传输膜组件的氧产物气体和贫氧气体的第二部分的工作压力范围。所述方法还可以包括选择第一和第二离子传输膜组件的工作温度范围。每一个离子传输膜组件包括若干膜单元，并可以在每一个离子传输膜组件中提供足够数量的膜单元以针对选定的压力范围和温度范围提供氧浓度小于约 2 摩尔％氧的富氮气体。

[0093] 贫氧气体的第二部分具有摩尔流率并且提供氮气体产物中小于约 2 摩尔％氧的方法的操作可以取决于贫氧气体的第二部分的摩尔流率。具有小于约 2 摩尔％氧的氮产物气体的产量也将取决于第一离子传输膜组件 10 中的膜单元数量（即，膜表面积）和第二离子传输膜组件 20 中的膜单元数量。所述方法可以包括在第一离子传输膜组件和第二离子传输膜组件中的每一个中提供足够数量的膜单元以提供氧浓度小于约 2 摩尔％氧的氮产物气体。本领域技术人员可以确定足以提供具有小于约 2 摩尔％氧的氮产物气体的膜单元数量或提供具有小于约 2 摩尔％氧的氮产物气体所需的膜单元数量，而无需过多的实验。

[0094] 为了针对贫氧气体的第二部分的摩尔流率提供具有小于约 2 摩尔％氧的氮产物气体，所述方法还可以包括以下中的一个或多个 ：调节或调整含氧和氮气体的压力、调节或调整来自第一离子传输膜组件 10 的氧产物气体的压力、调节或调整来自第二离子传输膜

组件的氧产物气体的压力、调节或调整贫氧气体的第二部分的压力、调节或调整第一离子传输膜组件 10 中的温度和调节或调整第二离子传输膜组件 20 中的温度。

[0095] 增大含氧和氮气体的压力将增大通过第一离子传输膜组件 10 中的膜的氧通量并因此减小贫氧气体中的氧浓度，这进而将减小氮产物气体 23 中的氧浓度。减小含氧和氮气体的压力将减小通过第一离子传输膜组件 10 中的膜的氧通量并因此增大贫氧气体中的氧浓度，这进而将增大氮产物气体 23 中的氧浓度。含氧和氮气体的压力可以通过调节或调整向系统提供入口气体 5 的供给压缩机的排出压力来增大或减小。

[0096] 减小来自第一离子传输膜组件 10 的氧产物气体的压力将增大通过第一离子传输膜组件 10 中的膜的氧通量并因此减小贫氧气体中的氧浓度，这进而将减小氮产物气体 23 中的氧浓度（如果没有通过阀 6 或 8 改变流动的话）。增大来自第一离子传输膜组件的氧产物气体的压力将减小通过第一离子传输膜组件中的膜的氧通量并因此增大贫氧气体中的氧浓度，这进而将增大氮产物气体 23 中的氧浓度。来自第一离子传输膜组件 10 的氧产物气体的压力可以通过调节或调整连接到第一离子传输膜组件 10 的氧压缩设备的吸入压力或通过调节或调整背压控制阀（未示出）来增大或减小。

[0097] 减小来自第二离子传输膜组件 20 的氧产物气体的压力将增大通过第二离子传输膜组件 20 中的膜的氧通量并因此减小氮产物气体中的氧浓度。增大来自第二离子传输膜组件 20 的氧产物气体的压力将减小通过第二离子传输膜组件中的膜的氧通量并因此增大氮产物气体 23 中的氧浓度。来自第二离子传输膜组件 20 的氧产物气体的压力可以通过调节或调整连接到第二离子传输膜组件的氧压缩设备的吸入压力或通过调节或调整背压控制阀（未示出）来增大或减小。用于第二离子传输膜组件 20 的氧压缩设备可以与第一离子传输膜组件 10 共用。作为替代方案，用于第二离子传输膜组件 20 的氧压缩设备可以与用于第一离子传输膜组件 10 的氧压缩设备是分开的。

[0098] 增大贫氧气体 13 的第二部分的压力将增大通过第二离子传输膜组件 20 中的膜的氧通量并因此减小氮产物气体中的氧浓度。减小贫氧气体 13 的第二部分的压力将减小通过第二离子传输膜组件 20 中的膜的氧通量并因此增大氮产物气体 23 中的氧浓度。贫氧气体的第二部分的压力可通过压缩机来增大或通过压力控制阀来减小，但这不如本文列出的考虑从离开第一离子传输膜组件 10 存在的无论哪种压力改变该压力的其它选择实用。

[0099] 提高第一离子传输膜组件 10 中的温度将增大通过第一离子传输膜组件 10 中的膜的氧通量并因此减小贫氧气体中的氧浓度，这进而将减小氮产物气体 23 中的氧浓度。降低第一离子传输膜组件 10 中的温度将减小通过第一离子传输膜组件 10 中的膜的氧通量并因此增大贫氧气体 13 中的氧浓度，这进而将增大氮产物气体 23 中的氧浓度。第一离子传输膜组件 10 中的温度可以通过调节或调整第一离子传输膜组件 10 上游的含氧和氮气体 5 的热输入（例如，调整直接或间接燃烧加热器的燃料输入）来提高或降低。

[0100] 提高第二离子传输膜组件 20 中的温度将增大通过第二离子传输膜组件 20 中的膜的氧通量并因此减小氮产物气体 23 中的氧浓度。降低第二离子传输膜组件 20 中的温度将减小通过第二离子传输膜组件 20 中的膜的氧通量并因此增大氮产物气体中的氧浓度。第二离子传输膜组件 20 中的温度可以通过调节或调整第二离子传输膜组件 20 上游的贫氧气体 13 的第二部分的热输入来提高或降低，但这不如本文列出的考虑从离开第一离子传输膜组件 10 存在的无论哪种温度改变该温度的其它选择实用。

[0101] 可以在进行任何再压缩步骤以达到最终使用压力之前将来自第一离子传输膜组件 10 的氧产物气体的压力调节或调整至与来自第二离子传输膜组件 20 的氧产物气体的压力相差在约 20kPa(3psi) 内。在此情况下，对于整个离子传输膜系统，可以使用共用的氧冷却系统和 / 或共用的压缩设备。调节或调整来自第一和第二离子传输膜组件的氧产物气体的压力至大约相同将提供单个压缩机组可以用于两个组件的益处。

[0102] 如上面所讨论的，由于可以从第二离子传输膜组件 20 抽出具有小于约 2 摩尔％氧的富氮气体，故该氮产物气体可以适于用作稀释剂来控制气体涡轮机中 NOx 的形成。所述方法还可以包括向气体涡轮机 50（也称燃烧涡轮机）的燃烧室中引入氮产物的至少一部分作为低氧含量稀释气体 55。气体涡轮机燃烧室 50 可以具有燃烧区和燃烧区下游的稀释区。低氧含量稀释气体 55 可以被引入到燃烧室的燃烧区和 / 或稀释区中。可以使低氧含量稀释气体 55 的一部分与燃料混合。可在 689kPa(100psia) 至约 4136kPa(600psia) 的压力下向气体涡轮机中引入低氧含量稀释气体。从第二离子传输膜组件抽出的氮产物可以具有足够的压力，以致其可以被引入到气体涡轮机中作为低氧含量稀释气体而不进一步压缩。

[0103] 所需的氮产物流率可以决定来自第一离子传输膜组件 10 的贫氧流的分割，以便不会不必要地产生过量的氮产物，从而使最初安装到各个离子传输膜组件中的所需膜表面积最小化。可以调节或调整去往第一离子传输膜组件 10 的含氧和氮气体的进给压力使得第二离子传输膜组件 20 的氮产物气体可以用在气体涡轮机或其它装置中而不进一步压缩。

[0104] 离子传输膜组件的所需膜表面积定义为在进料侧和产物侧的给定的工艺条件集合（即，温度、压力和氧浓度）下传输所需流率的氧所必要的膜的量，例如，以平方米量度。

[0105] 附图的示意性流程图中示出了本发明的一个示例性实施方式。热的、加压的含氧和氮气流 5，通常为空气，在 689kPa(100psia) 至 4136kPa(600psia) 的典型压力及 750℃至 950℃的典型温度下经由导管从上游压缩和加热装置（未示出）提供。该进料气被引入到代表性的离子传输膜组件 10 中，离子传输膜组件 10 示意为具有将组件分割成进料侧或区 17 和产物侧或区 18 的膜 11。这是说明这里讨论的方法的图示，而非意在描述如上所限定的实际离子传输膜组件的结构。

[0106] 通常含大于 99.0 摩尔％氧的高纯度氧产物气体 15 经由导管抽出，并且通常含 3 至 16 摩尔％氧的贫氧气体 13 经由另一导管抽出。

[0107] 来自第一离子传输膜组件 10 的贫氧气体 13 被分割成第一部分和第二部分，各个分割部分的量通过操作流动控制装置 6 和 8 来控制。第一部分经由导管被传输到涡轮膨胀机 40，而第二部分经由另一导管被传输到第二离子传输膜组件 20。阀和孔口为流动控制装置的实例。作为替代方案，这些流动控制装置中的一个可以用来控制流动分割而不使用其它的流动控制装置。

[0108] 贫氧气体 13 的第一部分在涡轮膨胀机 40 中膨胀以回收轴功或电能，并经由导管从涡轮膨胀机 40 抽出低压 (LP) 富氮废气 45。

[0109] 贫氧气体 13 的第二部分经由导管被引入到第二离子传输膜组件 20 中，第二离子传输膜组件 20 示意性地显示为具有将组件分割成进料侧或区 27 和产物侧或区 28 的膜 21。通常含大于 99.0 摩尔％氧的另外的氧产物气体 25 经由导管被抽出，并且与贫氧气体 13 的第二部分相比还进一步贫氧的氮产物气体 23 经由导管被抽出，其通常含有例如 1.5 至 5 摩

尔％的氧。氮产物气体可以含小于约 2 摩尔％的氧。

[0110] 第一离子传输膜组件 10 和第二离子传输膜组件 20 的示意图各自代表如上所限定的任何组件。组件可以以串流和 / 或并流结构包括一个或多个模块。如上所述，示例性的离子传输膜、膜单元、膜模块和膜组件（系统）描述在美国专利 5,681,373 和 7,179,323 中，二者通过引用整体并入本文中。

[0111] 可以设计和操作第一级和第二级离子传输膜组件 10 和 20 使得氧气流 15 和 25 的压力基本相等，即来自两级的流的压力之间的绝对差可以小于 20kPa(3psi)。附图中示意性地显示了这种结构，其中氧气流 15 和 25 在任选的产物氧压缩机 100 中任选地合并并任选地压缩以提供经压缩的氧产物。在压缩之前，氧气流 15 和 25 可能需要冷却（未示出）。冷却可以在流合并之前或之后进行。

[0112] 高压 (HP) 氮产物气体 23 可以用作稀释剂或稀释气体来控制气体涡轮机 50 中氮氧化物 (NOx) 的形成。典型气体涡轮机系统的燃烧室可以包括燃烧区和稀释区，并且燃烧区可以具有一次和二次燃烧区域。燃烧区和稀释区可以设置在衬里中，所述衬里进而设置在燃烧室系统的外壳中。如本文所用，术语“稀释剂”是指具有比在气体涡轮机系统的燃烧区中与燃料一起燃烧的氧化剂气体更低的氧浓度的气体。可以在气体涡轮机燃烧室中的任何所需位置处引入抽出的氮产物气体或源自其的任何气体部分来控制气体涡轮机 50 中氮氧化物 (NOx) 的形成。氮产物气体可以优选在 1724kPa(250psia) 和 3103kPa(450psia) 之间的压力下产生。

[0113] 在利用氮产物气体 23 的实施方式中，可以设计和操作离子传输膜组件使得氮产物气体的氧含量小于约 2 摩尔％。这可以通过选择设计和操作特征如由在每个离子传输膜组件 10 和 20 中使用的膜单元数量产生的总膜表面积、贫氧气体 13 的第一和第二部分的流量比以及组件的运行进料和 / 或氧产物压力和 / 或温度来实现。

[0114] 可以选择在附图的实施方式中从第一离子传输膜组件 10 送往膨胀机 40 的贫氧气体的分数，使得送往第二离子传输膜组件 20 的贫氧部分的氮含量与所需的氮产物流率相匹配。换句话说，所需的氮生产速率将决定贫氧部分的第一部分的分割，以便不会不必要地产生过量的氮，从而使所需的膜表面积最小化。最后，可以选择去往第一离子传输膜组件 10 的含氧气体 5 的空气进料压力，使得来自第二离子传输膜组件 20 的氮产物可在压力下使用而不经进一步压缩。例如，GE7FB 气体涡轮机的稀释剂压力规格为大约 2.7MPa(400psia)。当考虑了各种所需的单元操作的压降时，去往第一离子传输膜组件 10 的所需空气进料压力将为约 3.0MPa(430psia)。这个压力将提供足够的驱动力以在合理的氧产物压力和膜面积要求下产生氮产物的所需氧含量（即，小于约 2 摩尔％）所必要的氧传输速率。

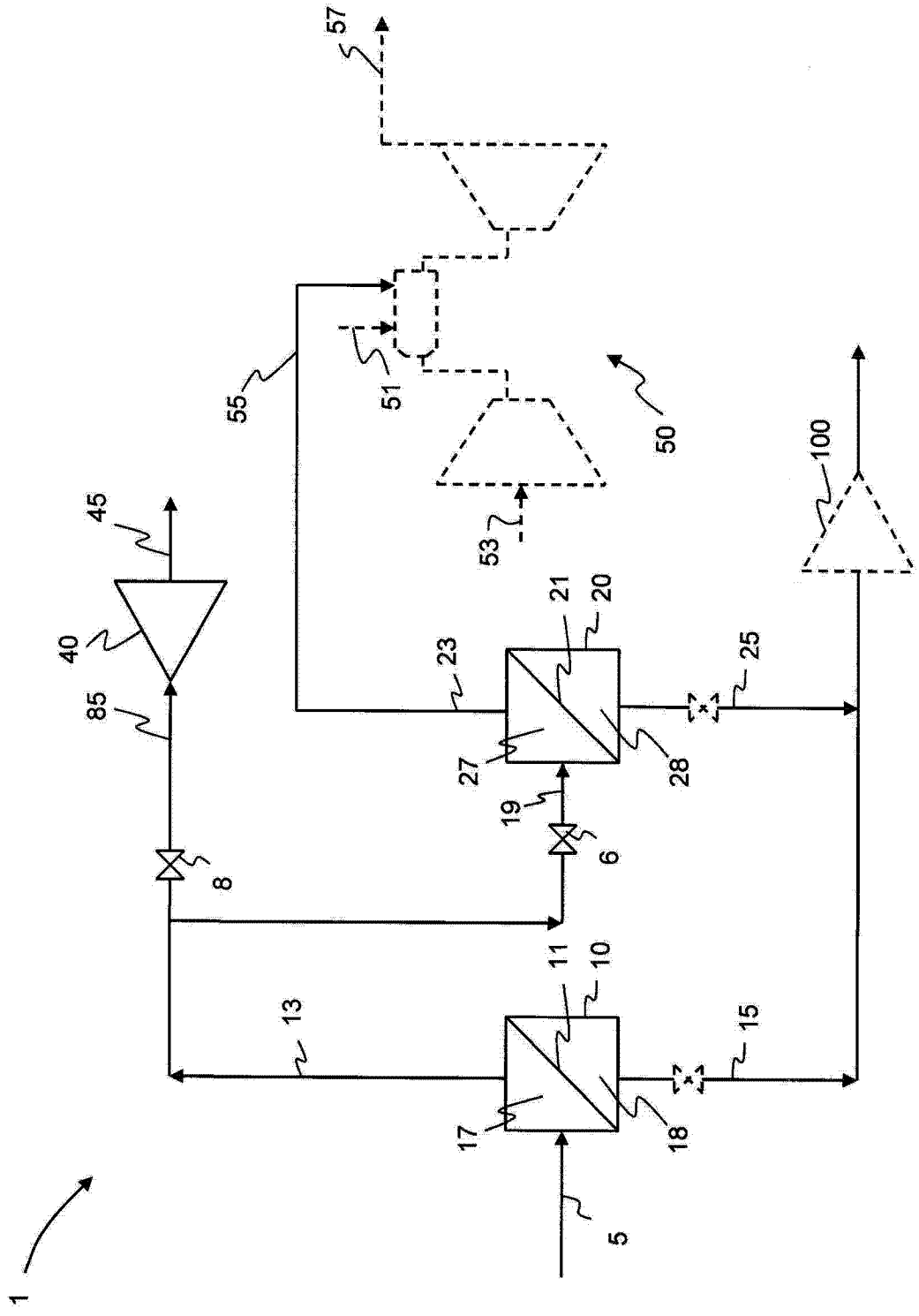


图 1