

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.<sup>7</sup>  
F25J 3/04



# [12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 99101344.1

[43] 授权公告日 2003 年 7 月 30 日

[11] 授权公告号 CN 1116582C

[22] 申请日 1999.1.21 [21] 申请号 99101344.1

[30] 优先权

[32] 1998.1.22 [33] US [31] 09/010958

[71] 专利权人 气体产品与化学公司

地址 美国宾夕法尼亚州

[72] 发明人 R·阿格拉沃 D·M·赫伦

审查员 王 森

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 魏金玺 钟守期

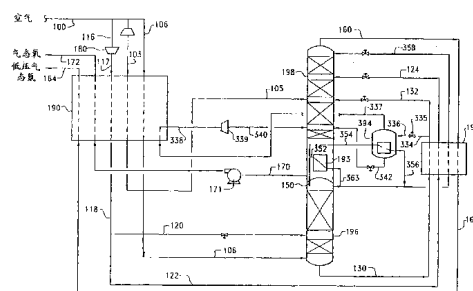
权利要求书 2 页 说明书 11 页 附图 8 页

[54] 发明名称 采用温膨胀器和冷膨胀器的空气分离法

[57] 摘要

本发明涉及空气在蒸馏塔系统中低温蒸馏的方法，蒸馏塔系统包括至少一个在较高压力条件下操作的蒸馏塔，和一个在较低压力条件下操作的蒸馏塔，其中给料空气冷却并送到较高压力塔，其中在生产氧制品较低压力塔底部的沸腾是通过冷凝氮浓度等于或大于给料空气流体氮浓度的一种流体提供的，且其中采用至少两个膨胀器对蒸馏塔系统提供冷冻作用，其中第一个膨胀器是在进口温度接近室温或大于室温条件下操作，和第二个膨胀器是在进口温度低于室温条件下操作，其特征在于两个膨胀器至少一个采用至少一个如下步骤：(a) 作功膨胀部分给料空气；(b) 作功膨胀氮含量等于或大于给料空气氮含量的一种工艺流体，且冷凝至少部分该膨胀流体，其方法是对以下两种液体至少一种进行潜热交换：(i) 较低压力塔中间高度的一种液体和

(ii) 低压塔液体给料之一，其氧浓度为至少给料空气氧浓度；(c) 冷凝氮含量等于或大于给料空气氮含量的至少一种工艺流体，其方法包括通过潜热交换蒸发至少部分富氧液态流体，富氧液态流体其氧浓度为至少给料空气氧浓度，且其压力大于较低压力塔压力，作功膨胀至少部分获得的蒸气流体；和 (d) 作功膨胀来自较高压力塔的一种工艺流体，其氮含量等于或大于给料空气氮含量，并引出该膨胀流体作为气态产品流体。



知识产权出版社出版

ISSN 1008-4274

1. 一种在蒸馏塔系统内低温蒸馏空气以生产主要是氧含量少于99.5%摩尔的气态氧产品的方法，其中蒸馏塔系统包括至少一个在较高压力条件下操作的蒸馏塔和一个在较低压力条件下操作的蒸馏塔，其中
- 5 给料空气冷却并送到较高压力塔，其中在生产氧制品的较低压力蒸馏塔底部的沸腾是通过冷凝氮浓度等于或大于给料空气流体氮浓度的一种流体提供的，且其中采用至少两个膨胀器对蒸馏塔系统提供冷冻作用，其中第一个膨胀器是在进口温度接近室温或大于室温条件下操作，和第二个膨胀器是在进口温度低于室温条件下操作，其特征在于：
- 10 (A) 第一个膨胀器采用至少一个以下步骤：
- (a) 作功膨胀部分给料空气；
- (b) 作功膨胀氮含量等于或大于给料空气氮含量的一种工艺流体，且通过对以下两种液体的至少一种进行潜热交换冷凝而至少部分该膨胀流体：(i) 位于较低压力塔的中间高度的一种液体和(ii) 低压塔液体
- 15 给料之一，其氧浓度至少为给料空气氧浓度；
- (c) 通过潜热交换而冷凝氮含量等于或大于给料空气氮含量的至少一种工艺流体，其中潜热交换蒸发至少部分富氧液态流体，富氧液态流体其氧浓度至少为给料空气的氧浓度，且其压力大于较低压力塔压力，并作功膨胀至少部分获得的蒸汽流体；和
- 20 (d) 作功膨胀来自较高压力塔的一种工艺流体，其氮含量等于或大于给料空气氮含量，并引出该膨胀流体作为气态产品流体；
- (B) 第二个膨胀器采用至少一个如下的步骤：
- (a) 作功膨胀部分给料空气，其中所述部分提取自已经被压缩和纯化但未被进一步压缩的空气；
- 25 (b) 作功膨胀氮含量等于或大于给料空气氮含量的一种工艺流体，且通过对以下两种液体的至少一种进行潜热交换而冷凝至少部分该膨胀流体：(i) 位于较低压力塔的中间高度的一种液体和(ii) 低压塔液体给料之一，其氧浓度至少为给料空气氧浓度；
- (c) 通过潜热交换而冷凝氮含量等于或大于给料空气氮含量的至少
- 30 一种工艺流体，其中潜热交换蒸发至少部分富氧液态流体，富氧液态流体其氧浓度至少为给料空气的氧浓度，且其压力大于较低压力塔压力，并作功膨胀至少部分获得的蒸汽流体；和

(d) 作功膨胀来自较高压力塔的一种工艺流体，其氮含量等于或大于给料空气氮含量，并引出该膨胀流体作为气态产品流体。

2. 根据权利要求 1 的方法，其中第一个膨胀器执行方法步骤 (d) 和第二个膨胀器执行方法步骤 (a)。

5        3. 根据权利要求 1 的方法，其中第一个膨胀器执行方法步骤 (d) 和第二个膨胀器执行方法步骤 (b)。

4. 根据权利要求 1 的方法，其中第一个膨胀器执行方法步骤 (d) 和第二个膨胀器执行方法步骤 (c)。

10       5. 根据权利要求 1 的方法，其中第一个膨胀器执行方法步骤 (a) 和第二个膨胀器执行方法步骤 (b)。

6. 根据权利要求 1 的方法，其中第一个膨胀器执行方法步骤 (a) 和第二个膨胀器执行方法步骤 (c)。

7. 根据权利要求 1 的方法，其中第一个膨胀器执行方法步骤 (a) 和第二个膨胀器执行方法步骤 (a)。

15       8. 根据权利要求 1 的方法，其中第一个膨胀器进口流体在膨胀之前要加热，方法是与外部热源进行间接热交换。

9. 根据权利要求 8 的方法，其中外部热源是高于室温的压缩气流。

10. 根据权利要求 9 的方法，其中高于室温的压缩气流是从压缩机排放的流体。

## 采用温膨胀器和冷膨胀器的空气分离法

## 技术领域

- 5 本发明涉及利用低温空气分离有效制备氧的几种方法。特别是，本发明涉及低温空气分离工艺，其中具有吸引力的是制备至少一部分总氧，其纯度低于 99.5%，且优选低于 97%。

## 背景技术

- 10 有几篇美国专利，教导有效制备纯度低于 99.5% 的氧。两个例子是美国专利 4,704,148 和 4,936,099。

- 美国专利 No. 2,753,698 公开了一种用于分馏空气的方法，其中要分离的总空气在复式分馏器的高压塔中预分馏，以制备粗（不纯）液态氧（粗 LOX）塔底液和气态氮塔顶馏出物。如此制备的粗 LOX 膨胀至中等压力，并靠氮冷凝热交换而完全蒸发。蒸发的粗氧然后稍微温热，对生产动力负载膨胀，并在复式分馏器的低压塔中用高压塔内冷凝氮洗涤，然后进入低压塔的顶部。低压塔的底部用来自高压塔的氮再沸腾。提供冷冻作用的这种方法以后就称作 CGOX 膨胀法。该专利不使用其它冷冻源。因此，对低压塔的常规空气膨胀法要用所提出的 CGOX 膨胀法代替。实际上，该专利引用了因额外空气送入高压塔达到的改进效果（如对低压塔没有气态空气要膨胀），而这导致高压塔顶部产生的额外氮回流。这说明额外氮回流量等于送入高压塔空气中额外氮量。为克服低压塔下部蒸出物不足，主张改进低压塔上部用液态氮洗涤的效率。
- 15
- 20

- 美国专利 No. 4,410,343，公开了一种采用低压和中压塔制备低纯度氧的方法，其中低压塔的塔底液靠冷凝空气再沸腾，而获得的空气送入中压和低压塔两者。
- 25

- 美国专利 No. 4,704,148 公开了一种方法，利用高压和低压蒸馏塔分离空气，制备低纯度氧和废氮流体。主热交换器冷端的给料空气，用于再沸腾低压蒸馏塔，并蒸发低纯度氧制品。用于塔再沸腾和氧制品蒸发的热功，靠冷凝空气馏分提供。该专利中，空气给料分成三路子流体。一路子流体全部冷凝，并用于为低压和高压蒸馏塔两者提供回流。第二路子流体部分冷凝，该部分冷凝子流体的气体部分送入高压蒸馏塔底
- 30

部，而液体部分为低压蒸馏塔提供回流。第三路子流体膨胀以回收冷冻作用，然后作为塔给料送入低压蒸馏塔。此外，高压塔冷凝器在低压塔中用作中间再沸器。

在国际专利申请#TCT/US87/01665(美国专利 No. 4, 796, 431)中，  
5 Erickson 提出一种从高压塔引出氮流体的方法，部分膨胀这种氮至中等压力，然后将其冷凝，其方法是对高压塔底部粗 LOX，或对低压塔中间高度液体进行热交换。这种冷冻方法如今就称为后跟冷凝氮膨胀 (NEC)。通常，NEC 提供冷箱的全部冷冻需要。Erickson 指出只有单独 NEC 不能提供冷冻作用的那些应用，才需要通过膨胀某些空气来提供  
10 补充的冷冻作用。然而，没有指出采用这种补充冷冻作用来降低能量消耗。这种补充冷冻作用是针对一种流程提出的，其中对流程作了其它改进以降低空气供给压。这降低了氮对膨胀器的压力，并因此降低了从 NEC 可获得的冷冻量。

在美国专利 No. 4, 936, 099 中，Woodward 等人采用与制备低纯度氧有关的 CGOX 膨胀。这种情况，气态氧制品制备方法是，对部分给料空气进行热交换，蒸发低压塔底部的液态氧。  
15

在丹麦专利 28 54 508 中，一部分在高压塔压力下的空气给料，利用对冷箱提供冷冻作用的膨胀器作功能量，在温热水平上再压缩。这种再压缩空气流然后部分冷却，并在同一驱动压缩机的膨胀器中膨胀。在  
20 这种设计中，要再压缩然后膨胀用于冷冻的部分给料空气流是相同的。结果，已知部分给料空气在冷箱中产生更多冷冻作用。该专利提出两种方法利用这种过量冷冻作用：(i) 从冷箱制备更多的液态产品；(ii) 降低通过压缩机和膨胀器的流量，并因此增加到高压塔的流量。据认为，增加到高压塔的流量，会使冷箱产品产率更高。

25 美国专利 No. 5, 309, 721 中，复式塔工艺的低压塔，是在比大气压高得多的压力下操作。从低压塔顶部获得的氮流体分成两路流体，每一路流体是在不同温度水平下操作的不同膨胀器中膨胀。

美国专利 No. 5, 146, 756 也提出采用两个膨胀器，在冷却蒸馏给料空气流体的主热交换器内，在冷却和温热流体之间造成大的温差。这么做是为了减少主热交换器芯的数目。然而，为了操作两个膨胀器，低压  
30 塔是在大于 2.5bar 压力下运行，且离开低压塔顶部的部分氮在一个膨胀器内膨胀。部分给料空气在第二个膨胀器内膨胀到低压塔。

美国专利 No. 4, 543, 115 提出一种复式塔工艺, 通过压缩产生两种不同压力给料空气流体, 并送到冷箱用于分离。较低压力空气流体送到低压蒸馏塔, 而较高压力空气流体送到高压塔。复式塔工艺生产低纯度氧和氮制品。

- 5 美国专利 No. 4, 964, 901, 也提出将两种压力空气给料用于冷箱分离。较低压力空气流体压力约为 1.5 - 1.8bar, 并从主空气压缩机级间引出。其余空气再压缩到较高压力并送到高压塔。较低压力空气送到低压塔。这种工艺的问题是, 要采用一个单独的吸附剂床, 以从较低压力空气流体中除去杂质如水和二氧化碳。由于较低的压力, 大量水存在于
- 10 较低压力空气流体中, 这不仅增加吸附剂床尺寸, 也增加这些床再生所需能量。这使方法变得昂贵。

#### 发明内容

- 本发明涉及空气在蒸馏塔系统中低温蒸馏的方法, 蒸馏塔系统包括
- 15 至少一个在较高压力条件下操作的蒸馏塔, 和一个在较低压力条件下操作的蒸馏塔, 其中给料空气冷却并送到较高压力塔, 其中在氧制品生产蒸馏塔底部的沸腾是通过冷凝其氮浓度等于或大于给料空气流体氮浓度的一种流体提供的, 且其中采用至少两个膨胀器对蒸馏塔系统提供冷冻作用, 其中第一个膨胀器是在进口温度接近室温或大于室温条件下操作, 和第二个膨胀器是在进口温度低于室温条件下操作, 其特征在于,
- 20 两个膨胀器的至少一个采用如下至少一个步骤: (a) 作功膨胀部分给料空气; (b) 作功膨胀氮含量等于或大于给料空气氮含量的一种工艺流体, 然后冷凝至少部分该膨胀流体, 方法是对以下两种液体至少一种进行潜热交换: (i) 较低压力塔的中间高度的一种液体和 (ii) 低压塔液体
- 25 给料之一, 其氧浓度为至少给料空气氧浓度; (c) 冷凝氮含量等于或大于给料空气氮含量的至少一种工艺流体, 方法是通过潜热交换, 蒸发至少部分富氧液态流体, 富氧液态流体其氧浓度为至少给料空气氧浓度, 且其压力大于较低压力塔压力, 作功膨胀至少一部分获得的蒸气流体; 和 (d) 作功膨胀来自较高压力塔的, 氮含量等于或大于给料空气氮含量
- 30 的一种工艺流体, 并引出该膨胀流体作为气态产品流体。

#### 附图说明

图 1-5 描绘了本发明不同实施方案的示意图。在图 1-5 中, 相同的流体使用同一流体代号。

图 6 描绘了本发明回收低级热有用设计的示意图。

图 7 和 8 描绘了两种先有技术工艺示意图。

5

#### 具体实施方式

本发明提出用于制备低纯度氧, 能量更有效和费用更节省的低温工艺。低纯度氧定义为氧浓度低于 99.5% 且优选低于 97% 的一种产品流体。该方法中, 给料空气用包括至少两个蒸馏塔的蒸馏系统进行蒸馏。一个蒸馏塔在较高压力下操作 (HP 塔), 而另一个塔在较低压力下操作 (LP 塔)。在 LP 蒸馏塔底部的沸腾是通过冷凝氮浓度等于或大于给料空气流体氮浓度的一种流体提供的。本发明在该工艺中采用至少两个膨胀器, 其中第一个膨胀器在进口温度接近室温或大于室温的条件下操作, 而第二个膨胀器在进口温度低于室温的条件下操作。本发明中, 两个膨胀器的至少一个采用如下至少一个步骤:

- (a) 作功膨胀部分给料空气;
- (b) 作功膨胀氮含量等于或大于给料空气氮含量的一种工艺流体, 然后冷凝至少部分该膨胀流体, 其方法是对以下两种液体至少一种进行潜热交换: (i) 较低压力塔的中间高度的一种液体和 (ii) 低压塔液体给料之一, 其氧浓度为至少给料空气氧浓度;
- (c) 冷凝氮含量等于或大于给料空气氮含量的至少一种工艺流体, 方法是通过潜热交换, 蒸发至少部分富氧液态流体, 富氧液态流体其氧浓度为至少给料空气氧浓度, 且其压力大于较低压力塔压力, 作功膨胀至少一部分获得的蒸气流体; 和
- (d) 作功膨胀来自较高压力塔, 氮含量等于或大于给料空气氮含量的一种工艺流体, 并引出该膨胀流体作为气态产品流体。

本发明工艺中, 采用至少两个膨胀器, 任何上述可替代步骤都可用于或一个或两个膨胀器, 以使第一个膨胀器进口流体温度或接近室温或大于室温, 且第二个膨胀器提供至少部分工厂所需冷冻作用。

通常, 提供工厂冷冻作用的第二个膨胀器, 其进口流体温度比室温低得多。本说明书中, 这种膨胀器称为冷膨胀器。类似地, 其进口流体温度接近室温或高于室温的第一个膨胀器, 称为温膨胀器。

在大多数优选模式中，蒸馏系统包括由较高压力（HP）塔和较低压力（LP）塔组成的复式塔系统。至少部分給料空气送入 HP 塔。制品氧由 LP 塔底部产生。可替代步骤(a)中工艺流体或可替代步骤(c)中工艺流体，通常是 HP 塔引出的高压富氮蒸汽流。若采用可替代步骤(a)的作功膨胀法，则高压富氮蒸汽流体膨胀，且随后冷凝，其方法包括对 LP 塔中间高度液态流体，或对 HP 塔底部产生的粗液态氧（粗 LOX）流体进行潜热交换。该方法，粗 LOX 流体压力降到 LP 塔压力附近。高压富氮流体在膨胀之前可以部分温热。若采用可替代步骤(c)的作功膨胀法，则高压富氮流体冷凝，其方法包括对压力高于 LP 塔压力的至少部分粗 LOX 流体进行潜热交换，由粗 LOX 至少部分蒸发获得的蒸气作功膨胀到 LP 塔。作功膨胀之前，由至少部分蒸发粗 LOX 获得的蒸气可以部分温热。作为粗 LOX 蒸发的一种可替代方法，氧浓度大于空气的富氧液体可以从 LP 塔引出，并用泵送到大于 LP 塔压力的所需压力，然后至少部分蒸发。

作功膨胀，它意味着当工艺流体在膨胀器内膨胀时，产生功。这种功可以在油制动器中分散，或用于发电，或用于直接压缩另一种工艺流体。

其它制品也可以同低纯度氧一起生产。这包括高纯度氧（纯度等于或大于 99.5%）、氮、氩、氪和氙。需要时，也可副产液态制品。

现在参照图 1 对本发明进行详细说明。不含较重组分如水和二氧化碳的压缩給料空气流体表示为流体 100。給料空气流体分成三路流体 102、106 和 116。主要部分流体 106 再分成两路流体 107 和 112。流体 112 在主热交换器 190 中冷却，然后作为流体 114 送入高压（HP）塔 196 的底部。高压塔給料蒸馏成顶部的高压氮蒸汽流体 150，和底部的粗液态氧（粗 LOX）流体 130。粗 LOX 流体在再冷却器 192 中再冷却并送入低压（LP）塔 198，在那蒸馏产生顶部的较低压力氮蒸汽流体 160，和底部的液态氧制品流体 170。另外，氧制品也可以作为蒸气从 LP 塔底部引出。液态氧制品流体 170 用泵 171 打到所需的压力，然后靠对适当加压工艺流体进行热交换而蒸发，以提供气态氧制品流体 172。图 1 中，适当加压工艺流体是管线 118 中部分給料空气。在 LP 塔底部的沸腾是通过冷凝管线 150 中高压氮流体提供的，从而提供高压液态氮流体 153。一部分该高压液态氮流体为 HP 塔提供回流，而另一部分在再冷却

器 192 中再冷却, 以提供再冷却液态氮流体 158。该再冷却液态氮流体 158 则作为回流送到 LP 塔。

图 1 中, 为了蒸发来自泵 171 的泵送液态氧, 给料空气流体 100 的一部分, 流体 116 在一个任选增压器 180 中再增压, 并靠冷水 (图中未标出) 冷却, 然后在主热交换器 190 中冷却, 方法是对泵送液态氧流体进行热交换。部分冷却的液态空气流体 118 送到 HP 塔 (流体 120), 而另一部分 (流体 122) 在再冷却器 192 中再冷却一些后送到 LP 塔。

图 1 的本发明中, 所采用的两个膨胀器是 139 和 182, 且在两个膨胀器中, 根据膨胀步骤 (a) 采用部分给料空气流体。于是, 稍高于室温的部分给料空气流体 102, 在温膨胀器 182 中作功膨胀至压力接近 LP 塔压力。该膨胀流体 103 然后在主热交换器 190 中冷却, 并送到 LP 塔适当位置。在优选模式中, 作功膨胀之前流体 102 的温度应当比室温高得多。通过流体 102 和适当热源之间热交换可以达到这种较高的温度。若在温膨胀器 182 膨胀后, 流体 103 温度比室温高, 则应该将其冷却到温度类似于到主热交换器去的其它空气流体 (117 或 112) 温度。

根据本发明图 1 第二个膨胀器是冷膨胀器 139。该冷膨胀器为工厂提供冷冻作用。为此, 部分给料空气流体 107 用增压器 184 增压。该增压流体首先用冷水 (图中未标出) 热交换进行冷却, 然后在主热交换器 190 中再冷却以提供流体 108。该再冷却流体 108 在冷膨胀器 139 中膨胀, 并送到 LP 塔适当位置。注意, 通常冷膨胀器 139 进口流体 108 的温度比室温低得多。由冷膨胀器 139 提取的作功能量用于驱动增压器 184。在另一种模式中, 可以不用增压器 184 增压空气流体 107, 而流体 107 可以不经任何增压直接送到主热交换器, 以提供再冷却流体 108。

几种已知的改进可以应用到图 1 的实例流程。例如, 到 LP 塔的液态氮回流可以不从高压液态氮流体 153 获得, 而从 HP 塔中间位置获得。这种情况, 氮制品流体可以从 HP 塔顶部引出。它可以是部分高压气态氮流体 150, 和/或部分高压液态氮流体 153。

图 2 表示工艺流体按照膨胀步骤 (d), 在一个膨胀器中作功膨胀的另一种实施方案。虽然人们可以选择, 或在温膨胀器或在冷膨胀器中, 膨胀从 HP 塔引出的工艺流体, 但图 2 中, 这种膨胀是在温膨胀器中进行的。于是, 为获得图 2 的系统, 去掉图 1 中温膨胀器 182 及其有关的空气流体, 并在其位置上加上温膨胀器 277。获得用于温膨胀器 277 的

给料流体 276 的方法包括, 从 HP 塔顶部引出部分高压氮蒸气流体 (流体 274) 并在主热交换器内使其温热。膨胀的流体 278 可以用作产品流体。在图 2 的优选模式中, 高压氮流体 276 在膨胀之前, 应该用另一个热源热交换进行再温热。这可以增加温膨胀器 277 的输出功。在另一个模式中, 高压流体 274 可以不从 HP 塔顶部引出, 而从该塔顶部以下位置引出。

图 3 表示本发明的一种工艺, 其中由采用膨胀步骤 (c) 的冷膨胀器 339 取代图 1 工艺的冷膨胀器 139。于是根据本发明, 氧浓度大于给料空气的至少部分粗 LOX 流体, 经过阀门 335 后, 其压力降低到 HP 塔和 LP 塔压力的中间一个压力。图 3 中, 粗 LOX 降压之前, 在再冷却器 192 中再冷却, 方法是对 LP 塔返回的气态氮流体进行热交换。该再冷却是任选的。压力降低的粗 LOX 流体 336 送到再沸腾器/冷凝器 394, 在那它至少部分沸腾, 方法是对管线 150 管线 354 的第二部分高压氮流体 (膨胀步骤 (c) 的工艺流体) 进行潜热交换, 以提供第二路高压液态氮流体 356。第一和第二路高压液态氮流体为 HP 和 LP 塔提供所需回流。管线 337 中蒸发了的部分压力降低粗 LOX 流体 (迄今称为粗 GOX 流体), 在主热交换器 190 内部分温热, 然后在冷膨胀器 339 内作功膨胀到 LP 塔, 作为额外给料。粗 GOX 流体 337 部分温热是任选的, 且类似地, 作功膨胀后流体 340 可以再冷却, 然后送到 LP 塔。

几种已知的改进可以应用于图 3 的实例流程。例如, HP 塔所有粗 LOX 流体都送到 LP 塔, 且一点也不送到再沸腾器/冷凝器 394。代替这种做法是, 从 LP 塔中间高度引出液体, 然后用泵将其送入 HP 塔和 LP 塔压力的中间压力, 并送到再沸腾器/冷凝器 394。在再沸腾器/冷凝器 394 内其余处理类似于早先解释的流体 334。另一个改进是, 在再沸腾器/冷凝器 193 和 394 中分别冷凝的两路高压氮流体 152 和 354, 可以不从 HP 塔同一点产生。各自可以从 HP 塔不同高度获得, 并在其再沸腾器 (193 和 394) 内冷凝后, 各自送到蒸馏系统适当位置。作为一个例子, 流体 354 可以从高压塔顶部位置以下位置引出, 并在再沸腾器/冷凝器 394 内冷凝后, 其部分返回到 HP 塔中间位置, 而其它部分送到 LP 塔。

图 4 表示另一个实施方案, 其中工艺流体根据膨胀步骤 (b) (ii) 在冷膨胀器内作功膨胀。这里再冷却的粗 LOX 流体 334, 经过阀门 335 后

压力降低到非常接近 LP 塔压力，然后送到再沸腾器/冷凝器 394。管线 354 中第二部分高压氮流体（如今是膨胀步骤(a)的工艺流体），在主热交换器内部分温热（任选），然后在膨胀器 439 内作功膨胀，以提供较低压力氮流体 440。流体 440 则在再沸腾器/冷凝器 394 内经潜热交换而  
5 冷凝，以提供流体 442，它再冷却一些后送到 LP 塔。再沸腾器/冷凝器 394 的蒸发流体 337 和液态流体 342 送到 LP 塔适当位置。若需要，管线 442 内部分冷凝氮流体可以用泵送到 HP 塔。两路氮流体，一路在再沸腾器/冷凝器 193 内冷凝，另一路在再沸腾器/冷凝器 394 内冷凝，再次可以从 HP 塔不同高度引出，并因此可以具有不同成分。

10 根据膨胀步骤(b) (ii)，也可以采用图 4 的另一种变化，采用冷膨胀器。这种设计中，所有 HP 塔底部粗 LOX 流体，未经任何蒸发送到 LP 塔。在 LP 塔中间高度采用一个中间再沸腾器/冷凝器，来代替再沸腾器/冷凝器 394。如今，来自膨胀器 439 的作功膨胀氮流体 440，在该中间再沸腾器/冷凝器内冷凝，方法是对 LP 塔中间高度液体进行潜热交换。  
15 冷凝的氮流体按图 4 类似方式处理。

图 5 工艺说明温膨胀器和冷膨胀器的工艺流体如何可以互换。图 4 中，部分給料空气流体在温膨胀器内膨胀，而 HP 塔的高压氮流体在冷膨胀器内膨胀。图 5 中，高压氮流体在温膨胀器内膨胀，而部分給料空气流体在冷膨胀器内膨胀。于是，管线 102 中部分空气流体，如今在主  
20 热交换器内部分冷却，然后在冷膨胀器 539 内膨胀并送到 LP 塔。来自 HP 塔顶部的高压氮流体 554，在主热交换器内温热到温度接近室温（流体 538），然后在温膨胀器 582 内膨胀。温膨胀器的膨胀流体然后在主热交换器内再冷却，提供流体 540。流体 540 的进一步处理类似于图 4 中流体 440。为了从温膨胀器 582 提取更多的功，高压氮流体 538 在温  
25 膨胀器内膨胀之前，应当用另外的热源进一步加热。

如早先所述，温膨胀器进口流体可以被加热，方法是对适当热源进行热交换。这会增加温膨胀器的输出功。热源的某些实例包括流体、热水、热气流和燃烧器等。这种温膨胀器可有利地回收低级热。回收低级热的一种有用设计如图 6 所示。这里，由离开压缩机的温热气流可获得  
30 的热，可用于预热到温膨胀器去的流体。图 6 中，来自图 1 增压器 180 的再增压空气流体的热量用于此目的。于是，来自增压器 180 的管线 662 中温热再增压空气流体，在热交换器 695 中冷却，方法是对管线 602 内

工艺流体进行热交换。温热的工艺流体 684 则在温膨胀器 682 内作功膨胀。管线 664 内再增压的冷空气流体，用冷水再冷却（流体 666），并可以直接送到主热交换器，以蒸发泵送液态氧。然而，图 6 中的一种选择，表示管线 666 中流体，靠利用温膨胀器 682 作功能量由增压器 667 再次增压。若需要，图 6 中离开温膨胀器 682 的流体 686，可以用冷水冷却。该图中，流体 602 代表要在温膨胀器内作功膨胀的任何工艺流体。于是，流体 602 就如同图 1 流体 102、或图 2 流体 276、或图 5 流体 538 等。

图 1、3 和 4 表明，到温膨胀器去的空气流体与到 HP 塔去的给料空气流体具有相同的压力。虽然这是优选模式，但不必两个压力相同。例如，图 1 流体 102 压力可以低于或高于流体 106 的压力。然而，通常，流体 102 压力或者低于流体 106 压力，或者与其相同。

迄今，所有实例流程都显示出或一个或两个再沸腾器/冷凝器。然而，应当强调，本发明不排除在 LP 塔中采用比图 1-5 所显示的更多的附加再沸腾器/冷凝器。若需要，可以在 LP 塔底部区段采用更多的再沸腾器/冷凝器，以便在该区段里再分配蒸气的形成。任何适宜的工艺流体都可以在这些额外的再沸腾器/冷凝器中或部分或全部冷凝。也可以考虑，在位于 LP 塔内的再沸腾器/冷凝器中，冷凝从 HP 塔中间高度引出的蒸气流体的可能性。

总之，本发明利用膨胀步骤 (b) 提取功的工艺设计中，作功膨胀后全部工艺流体，都可以不靠如该变换所指出的潜热交换而冷凝。该流体一部分可以作为产品流体回收，或用于该工艺设计的某些其它目的。例如，图 4 所示的工艺设计中，来自高压塔的至少部分高压氮流体在膨胀器 439 内，根据本发明膨胀步骤 (b) 作功膨胀。离开膨胀器 439 的部分流体可以在主热交换器内再温热，并作为中等压力氮制品回收。

从本发明温膨胀器提取的全部功常常要用于冷箱之外。由冷膨胀器提取的全部功，通常，但也不是必须用于冷箱之外，然而，至少一部分这种提取功必须用于冷箱之外。为此，或者一个或者两个膨胀器可以是发电机负载用以发电，或是用温热压缩机负载的，用以压缩室温或大于室温的工艺流体。可以在这种温热压缩机中压缩的工艺流体，某些实例为：最终要靠泵送液态氧热交换而冷凝的再加压空气流体（图 1 流体 117）、产品氮流体（图 1 全部或部分流体 164）和气态氧流体（图 1

管线 172)。

本发明方法也能从 HP 塔有效副产高压氮制品流体。这种高压氮制品流体可以从 HP 塔任何适当位置引出。图 1-5 任何一个流程都表示出的这种特点，但它是本发明的基本部分。

- 5       最终，当除了氧含量低于 99.5% 低纯度氧之外，还存在副产品时，可以采用本发明提出的方法。例如，高纯度氧（氧含量 99.5% 或更高）可以从该蒸馏系统副产。完成这个任务的一个方法是，从 LP 塔在其底部上方位置引出低纯度氧，而从 HP 塔底部引出高纯度氧。若高纯度氧流体以液态形式引出，则可以用泵再增压，然后靠对适当工艺流体热交换而蒸发。类似地，在提高压力条件下可以副产高纯度氮制品流体。完
- 10       成该任务的一个方法就是，从一个适当的再沸腾器/冷凝器取一部分冷凝液态氮流体，并用泵将其打到所要求的压力，然后靠适当工艺流体使其蒸发。

- 15       本发明的价值在于它使能量消耗大大较低。将其与下列某些已知先有技术工艺比较，这一点就可以很容易理解：

第一个先有技术工艺如图 7 所示。这是一个常规复式塔工艺，带有一个到 LP 塔的冷空气膨胀器。空气膨胀器的作功能量作为电能回收。由图 1 工艺去掉温膨胀器 182、增压器 184 和有关管线，便获得图 7 工艺。流体 107 直接送到主热交换器，部分冷却并送到冷膨胀器。

- 20       第二个先有技术工艺是根据丹麦专利 DE-2854508 得出，如图 8 所示。由图 1 去掉温膨胀器 182 和有关管线，便获得该工艺。该工艺除了要膨胀的流体，首先在与膨胀器械连结的压缩机中压缩外，类似于图 7 所示工艺。

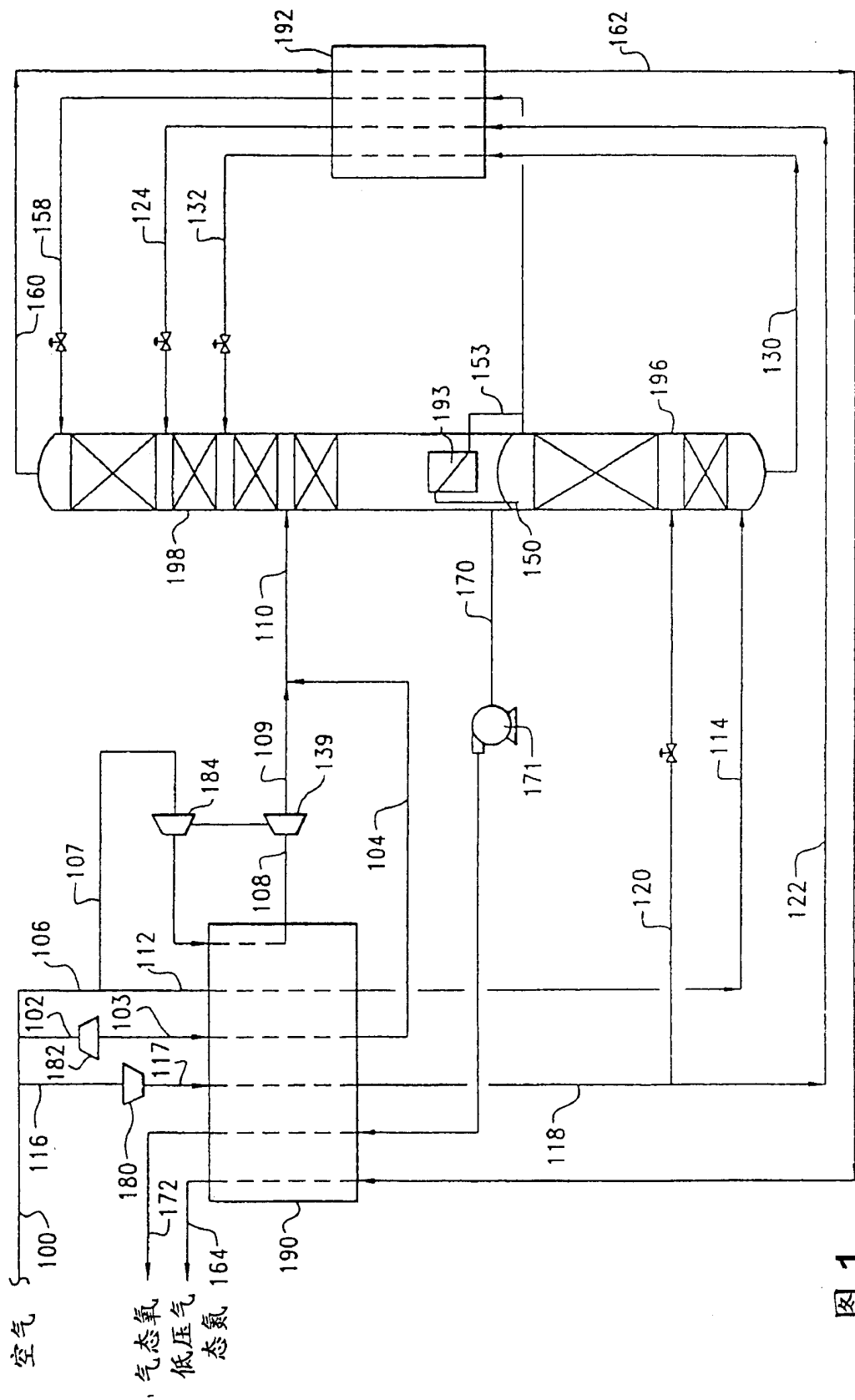
- 25       将图 1 工艺与图 7 和 8 两个先有技术工艺进行比较，本发明比先有技术工艺优越的性能就变得清楚了。对于已知給料空气压力，图 1 和 8 之间唯一区别是采用温膨胀器 182。图 1 通过在温膨胀器 182 内膨胀部分給料空气，回收作功能量。该作功能量可以用于或者发电，或者压缩适当的工艺流体。显然，这使工厂总能量需求下降。众所周知，特别是当 LP 塔压力接近周围压力时，大部分給料空气可以膨胀（达 25%），
- 30       而对氧的回收没有很大影响。因此，在温膨胀器中可以膨胀达 25%，优选达 15% 的給料空气。额外要膨胀的量取决于特殊应用。例如，最适宜的冷膨胀器流量取决于热渗漏量和液体生产量。

本发明甚至更适合图 3-5 所示工艺。美国专利 2,753,698, 提出采用如图 3 冷膨胀器 339 所示的粗 GOX 膨胀。美国专利 4,796,431 提出图 4 的冷膨胀器技术。然而, 这两个专利都没利用经温膨胀器回收能量的有利方面。在这些工艺中, LP 塔可获得的总沸腾和回流量通常大于图 7 和 8 的工艺。结果, 更大部分空气可以送到图 3 和 4 的温膨胀器。这就使甚至更多的能量得到节省。

与美国专利 4,964,901 比较, 本发明不要求从 1.5-1.8bar 很低压力空气流体中除去水。这降低了吸附剂床尺寸和吸附剂床再生所需能量。此外, 许多场合, 本发明不需要拥有两套吸附剂床处理两种不同压力的空气给料。如今, 所有空气给料都压缩到一种压力并送到一套吸附剂床。这使工艺进一步简化。

特别是, 当 HP 塔压力大于约 60 磅/平方英寸绝对压力 (4bar 绝对压力) 和小于约 160 磅/平方英寸绝对压力 (11bar 绝对压力) 时, 本发明更有用。通常, 高压塔操作低于 60 磅/平方英寸绝对压力, 正是部分给料空气流体需要在 LP 塔底部再沸腾器中冷凝的原因。这减少蒸馏塔可获得的液态氮回流量。温热空气膨胀器的使用, 会进一步减少液态氮回流量。此外, 因为膨胀器进口压力如今较低, 所提取的功量不大。结果, 当 HP 塔压力大大低于 60 磅/平方英寸绝对压力时, 本发明工艺会没有吸引力。HP 塔压力大于 160 磅/平方英寸绝对压力, 蒸馏塔对液态氮回流的需要急剧增加, 且这种情况下, 对 LP 塔采用温热给料空气膨胀器就变得没有吸引力。

尽管本文参照某些特殊实施方案进行描述, 但并不意味着本发明限于已做出的详细说明。更确切的说, 详细说明可做出的各种改进都在本权利要求书的等同范围内, 且没离开本发明的思想。



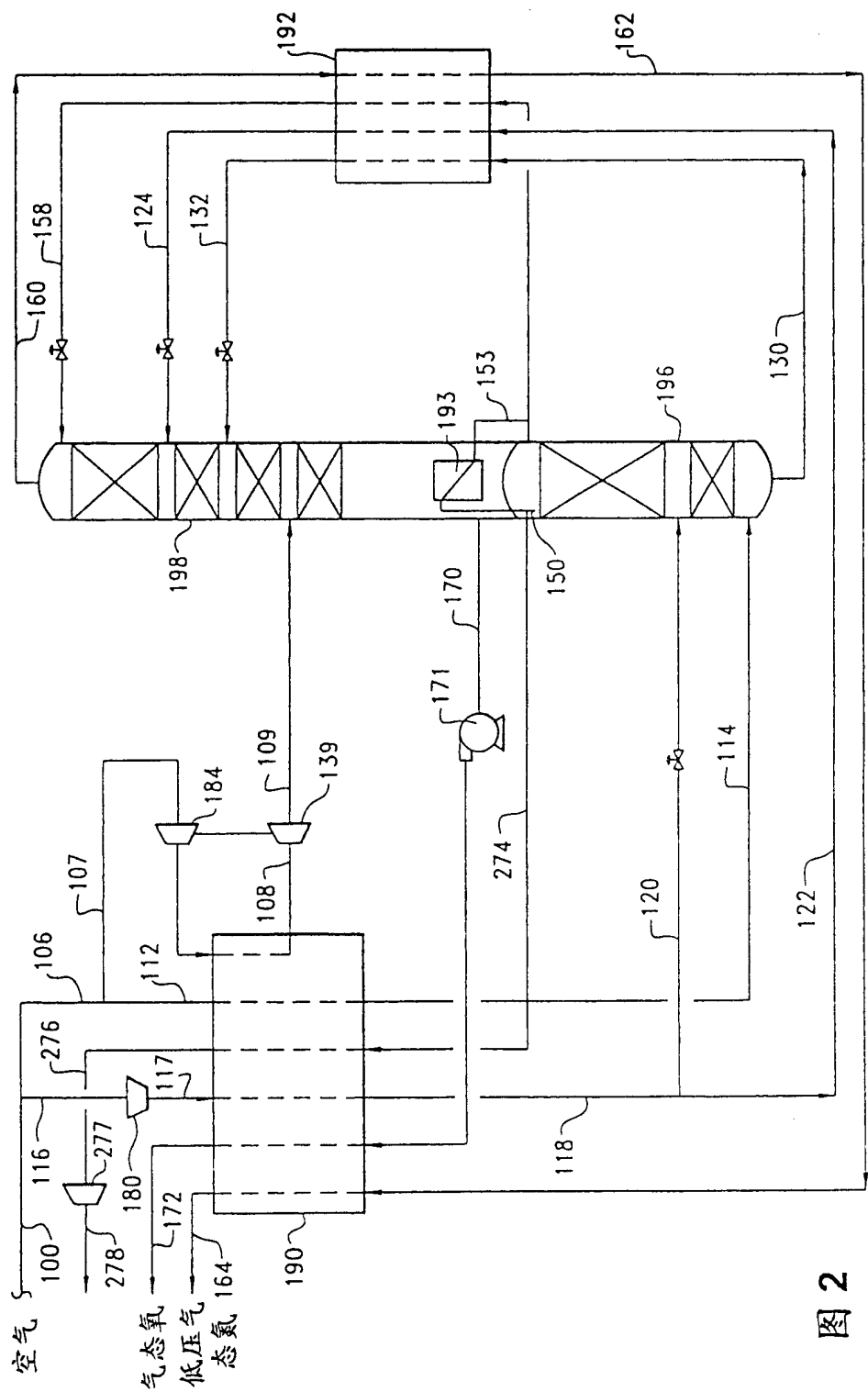
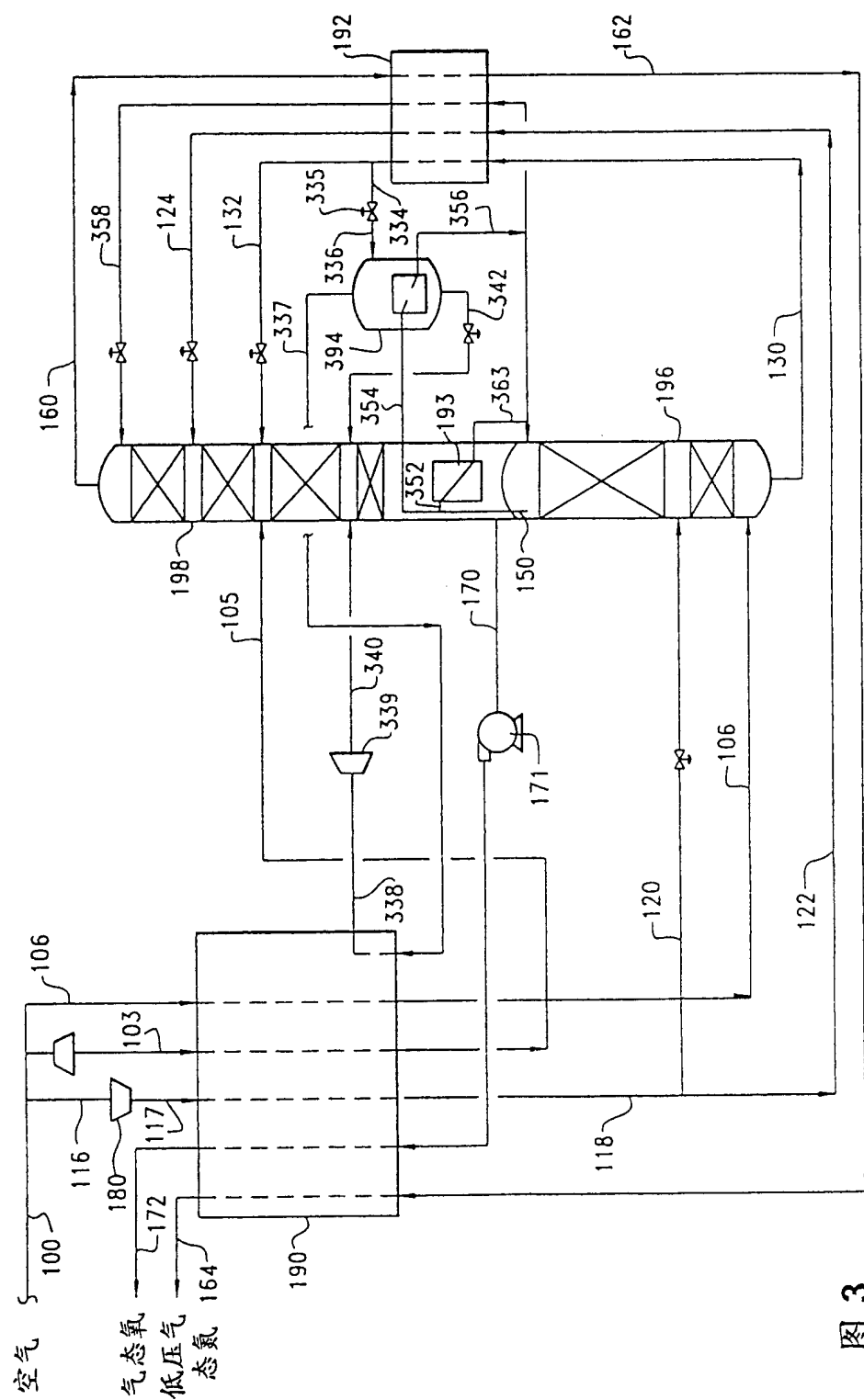


图 2



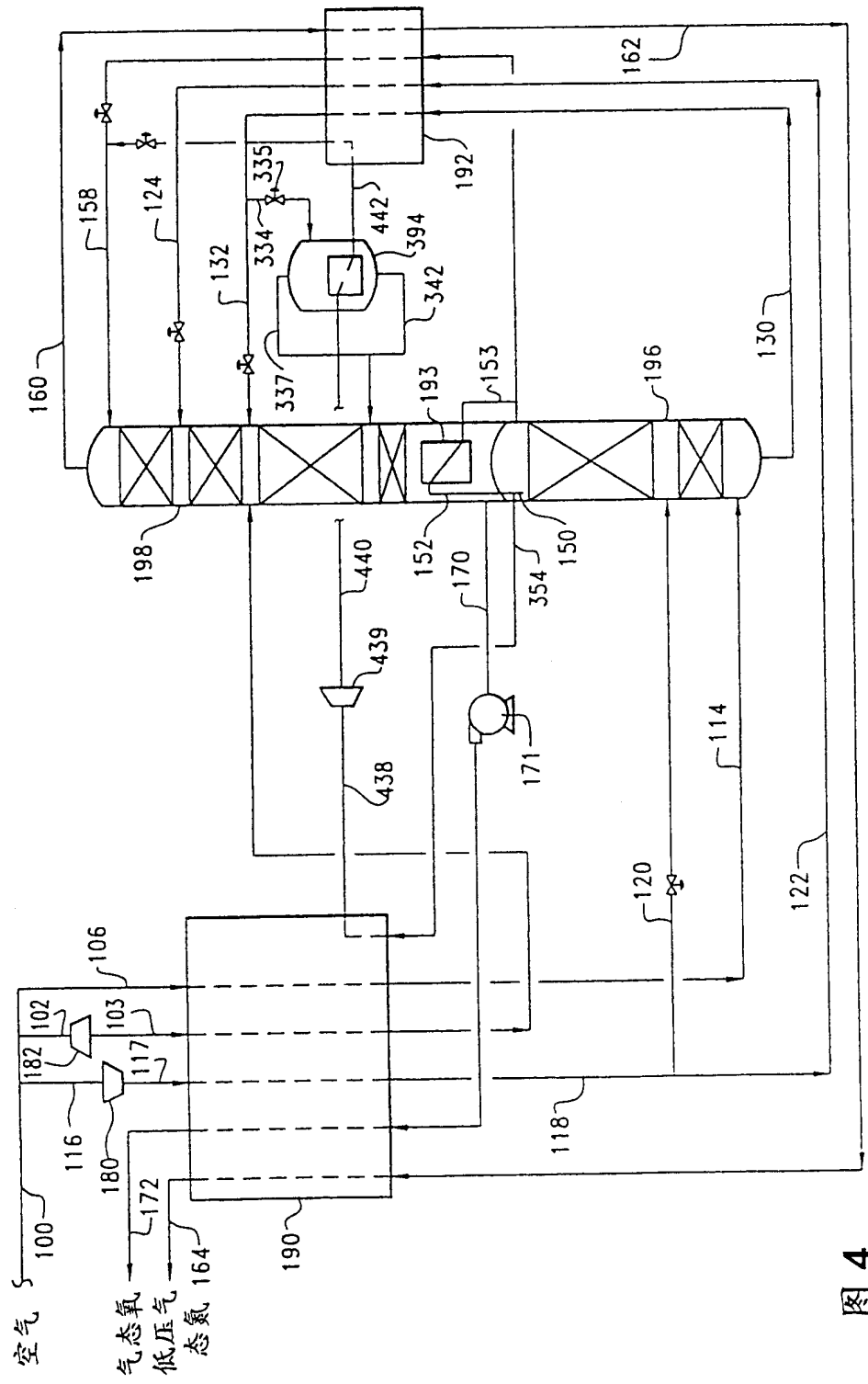
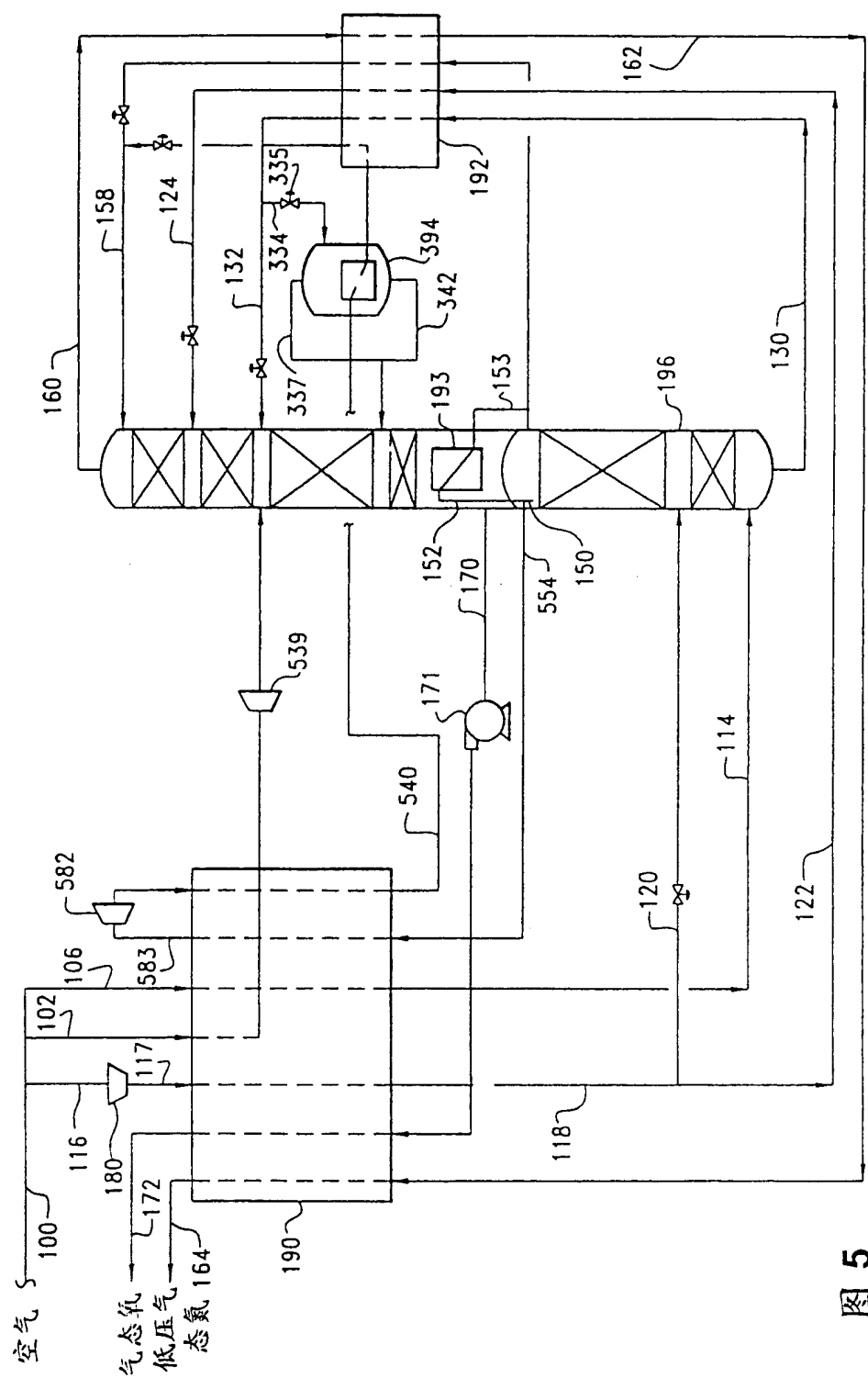


图 4



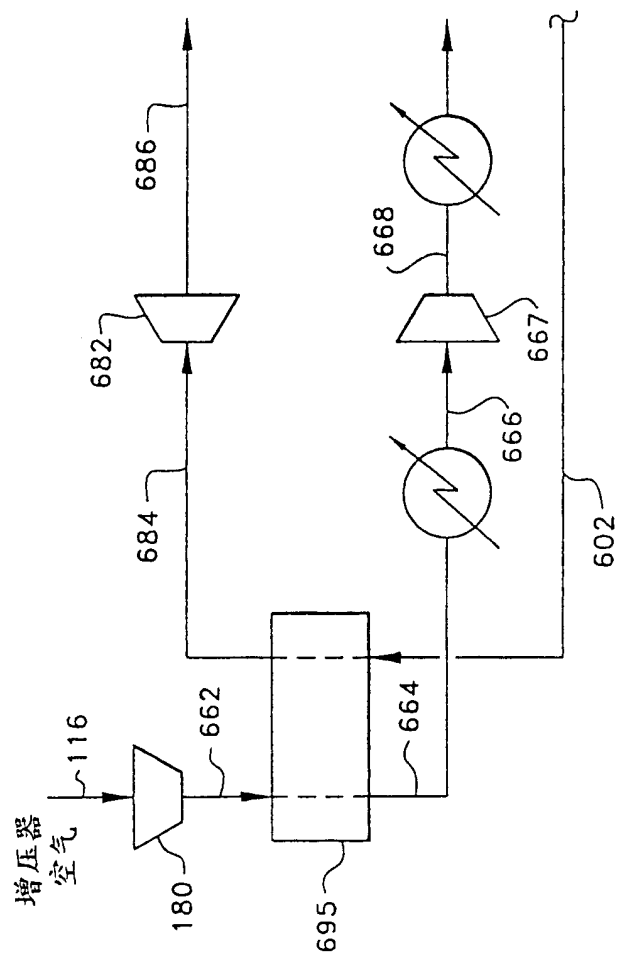


图 6

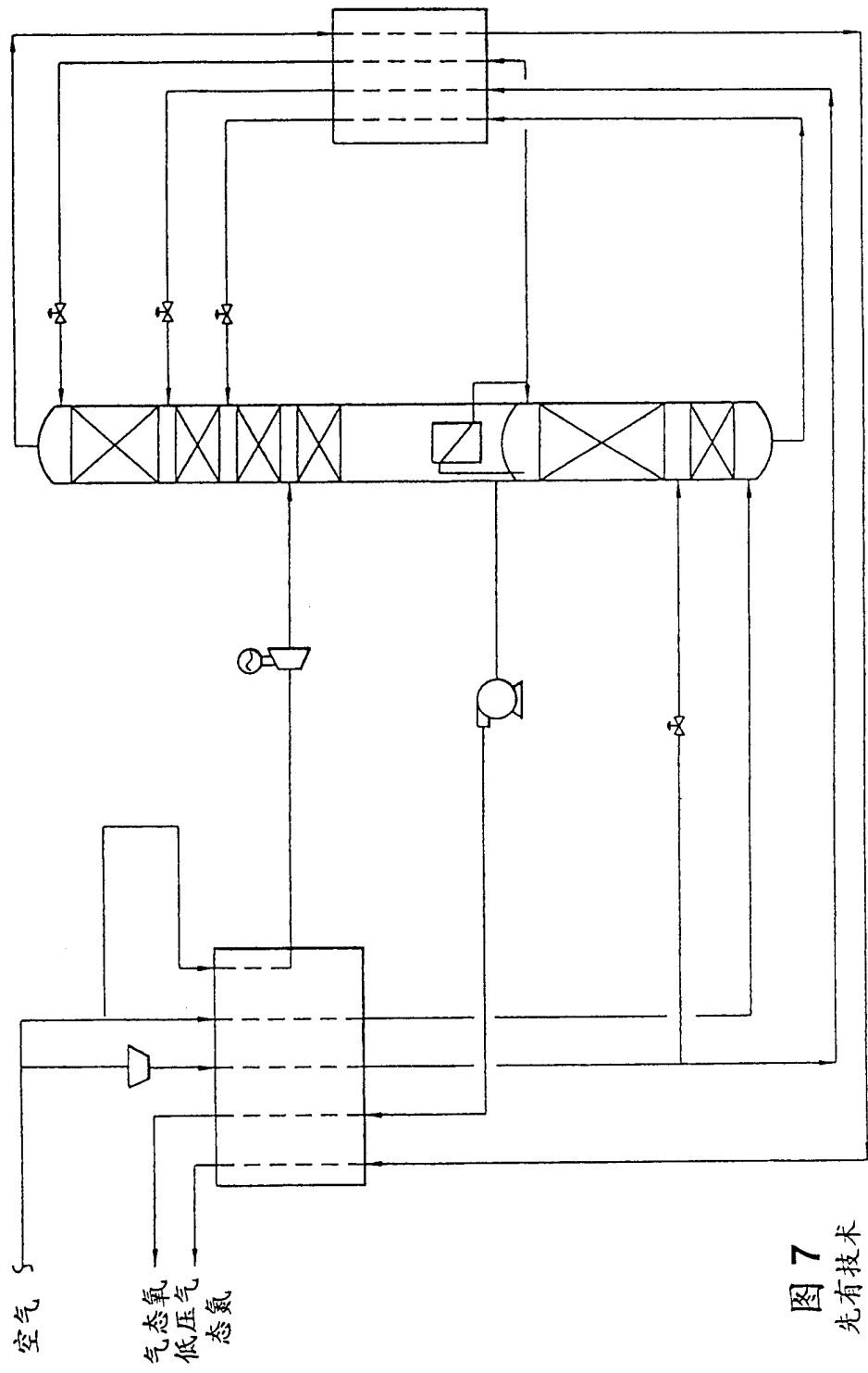


图 7  
现有技术

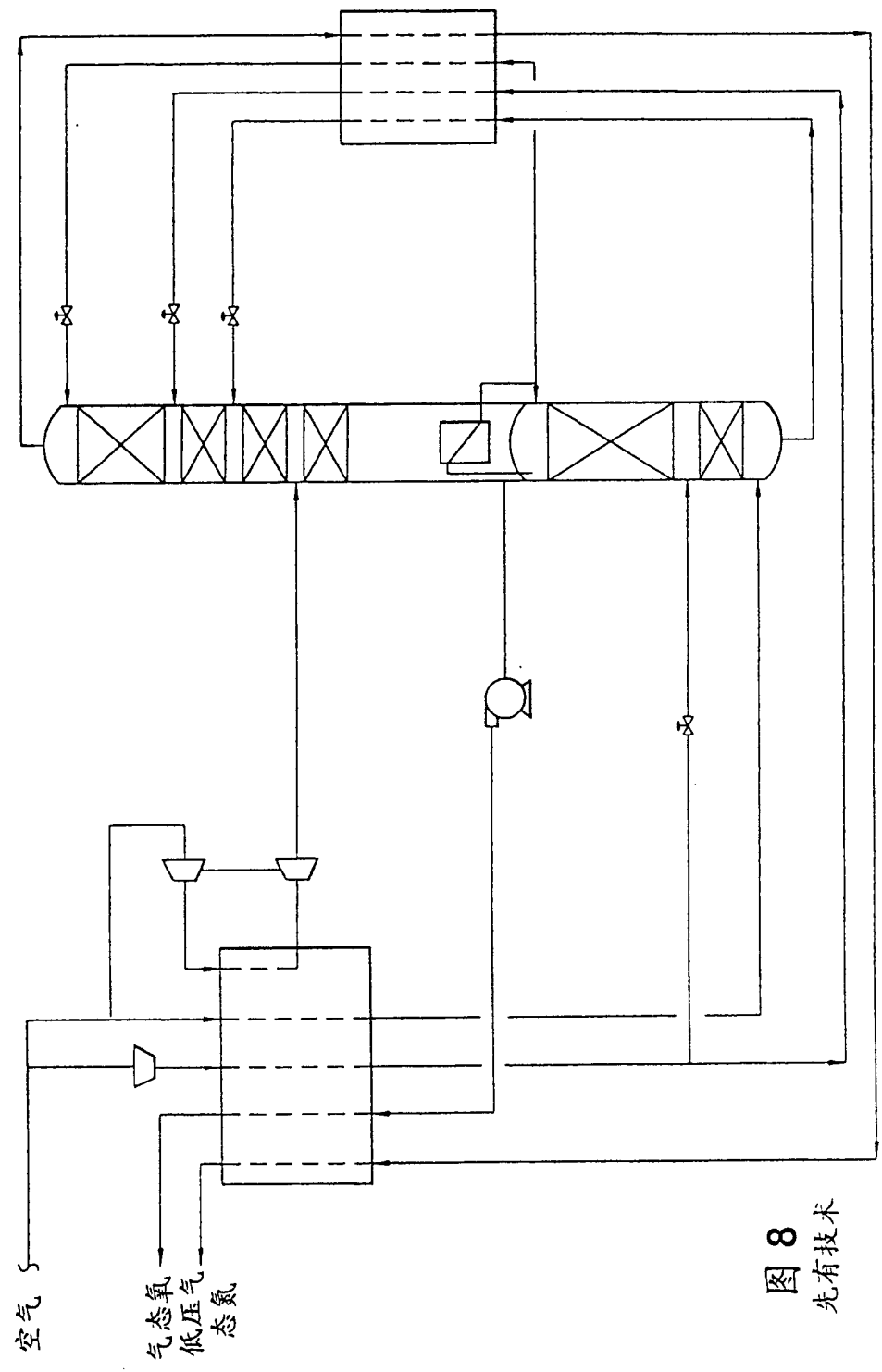


图 8  
先有技术