



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公開本

(11)公開編號：TW 202108222 A

(43)公開日：中華民國 110 (2021) 年 03 月 01 日

(21)申請案號：109118427

(22)申請日：中華民國 109 (2020) 年 06 月 02 日

(51)Int. Cl. : **B01D3/26 (2006.01)** **F25J3/02 (2006.01)**
F25J3/04 (2006.01)

(30)優先權：2019/06/04 歐洲專利局 19020361.2

(71)申請人：德商林德有限公司 (德國) LINDE GMBH (DE)

德國

(72)發明人：高盧貝夫 迪米特里 GOLUBEV, DIMITRI (DE)

(74)代理人：陳長文

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：15 項 圖式數：5 共 43 頁

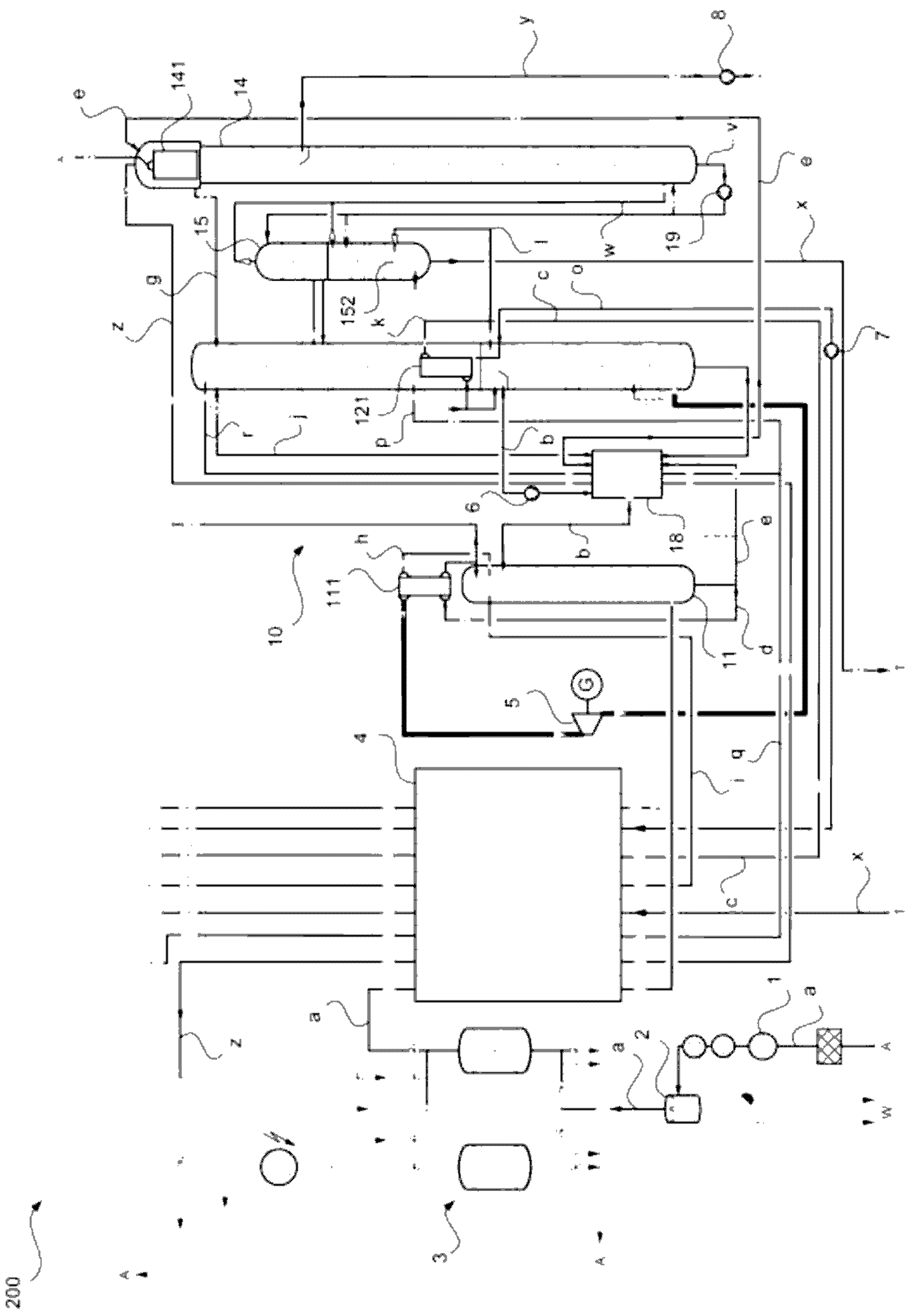
(54)名稱

空氣的低溫分離方法與設備

(57)摘要

本發明係有關於一種低溫分離空氣的方法，其中使用具有塔系統(10)的空氣分離設備(100 至 500)，該塔系統具有第一塔(11)、第二塔(12)、第三塔(13)及第四塔(14)，其中，將來自該第一塔(11)的流體至少送入該第二塔(12)，將來自該第二塔(12)的流體至少送入該第三塔(13)，將來自該第三塔(13)的流體至少送入該第四塔(14)，並且將來自該第四塔(14)的流體至少送入該第三塔(13)，且其中，從該第三塔(13)被送入該第四塔(14)的該流體包括以低於該第三底層液體的氧含量及高於該第三底層液體的氮含量從該第三塔(13)提取的側流的至少一部分。設置如下：藉由冷凝該第一塔(11)的頂部氣體以形成回流液體，並且將該回流液體液態回輸到該第一塔(11)上。為了冷凝該第一塔(11)的該頂部氣體，提供液態冷卻流並使其在間接熱交換中逆著該頂部氣體蒸發或部分蒸發，並且，該冷卻流蒸發或部分蒸發時所形成的氣體膨脹做功而減壓至該第二壓力範圍的壓力並被送入該第二塔(12)中。相應的空氣分離設備(100 至 500)同樣為本發明之主題。

指定代表圖：



【圖 2】

符號簡單說明：

- 1:主空氣壓縮機
- 2:直接接觸式冷卻器
- 3:吸附裝置
- 4:主熱交換器
- 5:膨脹機
- 6:泵
- 7:內壓縮泵
- 8:內壓縮泵/膨脹機
- 10:塔系統
- 11:第一塔
- 14:第四塔
- 15:塔
- 18:過冷式逆流熱交換器
- 19:泵
- 111:冷凝蒸發器
- 121:冷凝蒸發器/主冷凝器
- 141:冷凝蒸發器/頂部冷凝器
- 152:冷凝蒸發器
- 200:空氣分離設備/設備
- A:大氣
- a:輸入空氣流
- b:液態富氮流
- c:物料流
- d:分流/物料流/底層流
- e:分流/物料流
- f:關聯符/分流
- G:發電機
- g:物料流
- h:物料流/液化頂部氣體/液化物料流
- i:物料流
- j:物料流
- k:物料流

l:物料流/關聯符

o:物料流

p:物料流

q:收集流/物料流

r:物料流

T:儲罐系統

v:物料流

W:冷卻水

w:物料流

x:物料流

y:物料流

z:再生氣流/物料流



202108222

【發明摘要】**【中文發明名稱】** 空氣的低溫分離方法與設備**【中文】**

本發明係有關於一種低溫分離空氣的方法，其中使用具有塔系統(10)的空氣分離設備(100至500)，該塔系統具有第一塔(11)、第二塔(12)、第三塔(13)及第四塔(14)，其中，將來自該第一塔(11)的流體至少送入該第二塔(12)，將來自該第二塔(12)的流體至少送入該第三塔(13)，將來自該第三塔(13)的流體至少送入該第四塔(14)，並且將來自該第四塔(14)的流體至少送入該第三塔(13)，且其中，從該第三塔(13)被送入該第四塔(14)的該流體包括以低於該第三底層液體的氧含量及高於該第三底層液體的氬含量從該第三塔(13)提取的側流的至少一部分。設置如下：藉由冷凝該第一塔(11)的頂部氣體以形成回流液體，並且將該回流液體液態回輸到該第一塔(11)上。為了冷凝該第一塔(11)的該頂部氣體，提供液態冷卻流並使其在間接熱交換中逆著該頂部氣體蒸發或部分蒸發，並且，該冷卻流蒸發或部分蒸發時所形成的氣體膨脹做功而減壓至該第二壓力範圍的壓力並被送入該第二塔(12)中。相應的空氣分離設備(100至500)同樣為本發明之主題。

【指定代表圖】：圖2。**【代表圖之符號簡單說明】**：

1:主空氣壓縮機

2:直接接觸式冷卻器

3:吸附裝置

第1頁，共 3 頁(發明摘要)

- 4:主熱交換器
- 5:膨脹機
- 6:泵
- 7:內壓縮泵
- 8:內壓縮泵/膨脹機
- 10:塔系統
- 11:第一塔
- 14:第四塔
- 15:塔
- 18:過冷式逆流熱交換器
- 19:泵
- 111:冷凝蒸發器
- 121:冷凝蒸發器/主冷凝器
- 141:冷凝蒸發器/頂部冷凝器
- 152:冷凝蒸發器
- 200:空氣分離設備/設備
- A:大氣
- a:輸入空氣流
- b:液態富氮流
- c:物料流
- d:分流/物料流/底層流
- e:分流/物料流

f:關聯符/分流

G:發電機

g:物料流

h:物料流/液化頂部氣體/液化物料流

i:物料流

j:物料流

k:物料流

l:物料流/關聯符

o:物料流

p:物料流

q:收集流/物料流

r:物料流

T:儲罐系統

v:物料流

W:冷卻水

w:物料流

x:物料流

y:物料流

z:再生氣流/物料流

【特徵化學式】

無

【發明說明書】

【中文發明名稱】 空氣的低溫分離方法與設備

【技術領域】

【0001】 本發明係有關於如獨立請求項之前言所述的空氣的低溫分離方法與設備。

【先前技術】

【0002】 在空氣分離設備中藉由低溫分離空氣來製造液態或氣態空氣產品屬於習知技術，並記載於例如H.-W. Häring (Hrsg.), Industrial Gases Processing, Wiley-VCH, 2006, 特別是在第2.2.5節「Cryogenic Rectification」中。

【0003】 空氣分離設備具有精餾塔系統，傳統上，精餾塔系統可例如形成為雙塔系統，特別是經典的Linde雙塔系統，但亦可形成為三塔或多塔系統。除了用於獲取液態及/或氣態的氮及/或氧的精餾塔（即氮氧分離精餾塔）外，還可設置用於獲取其他空氣組分（尤指氬、氙及/或氪等稀有氣體）的精餾塔。其中，術語「精餾」與「蒸餾」以及「塔」與「柱」或者與此相關的複合術語往往作為同義詞使用。

【0004】 上述精餾塔系統的精餾塔係在不同的壓力水平上運行。習知的雙塔系統具有所謂的高壓塔（亦稱壓力塔、中壓塔或下塔）及所謂的低壓塔（亦稱上塔）。高壓塔通常在4 bar至7 bar，特別是約5.3 bar的壓力水平上運行。低壓塔一般在1 bar至2 bar，特別是約1.4 bar的壓力水平上運行。在特定情

況下，亦可在兩種精餾塔中使用更高的壓力水平。此處及下文所給出的壓力係為塔頂處的絕對壓力。

【0005】 特別是對半導體工廠（所謂的晶圓製造廠）的供應，除了盡可能無粒子的氣態高純氮及視情況而需要的氧之外，對較少量的氣態氬的供應需求亦逐步增長。為此，可將液氬送貨上門或/且就地蒸發液氬，或者可就地獲取氣態氬。液氬的送貨上門不僅帶來經濟上的劣勢（運輸成本、換罐損耗、蒸發時相對於環境空氣的冷損失），亦對物流鏈的可靠性有較高要求。因此，上述應用領域對除了較大量的氣態高純氮之外亦能提供較小量之氣態氬的空氣低溫分離設備的需求逐步增長。生產出來的氮通常應僅含有約1 ppb，最多1000 ppb的氧，基本無粒子，且可在顯著的超大氣壓力水平上被提供。以ppb或ppm為單位給出的數值在此係與莫耳含量有關。

【0006】 通常使用具有雙塔系統以及所謂的粗氬塔及所謂的精氬塔的空氣分離設備來獲取氬。一個例子圖示於Häring案（見上）的圖2.3A中，並且自第26頁起記載於段落「Rectification in the Low-pressure, Crude and Pure Argon Column」中以及自第29頁起記載於段落「Cryogenic Production of Pure Argon」中。若相關精餾塔採用相應設計，則原則上亦可在相應設備中棄用精氬塔。在此情況下，可從粗氬塔或一般情況下略低於傳統上被轉移至精氬塔的流體的類似塔中提取純氬。

【0007】 即使所需氬量較小，以傳統技術生產氣態氬時，仍須以如前所述之雙塔及氬精餾裝置組裝完整（即配設有經典的提氧低壓塔）的空氣分離設備。此類設備無法在保證高產量的同時以合理產率在顯著的超大氣壓力水平上生產氮。在此，氮絕大部分作為低壓產品而產生且必須經壓縮處理。剩餘部分

可在壓力柱壓力下獲取，但在大多數情況下同樣須經再壓縮處理。在僅使用高壓塔來生產氮的替代設備配置中，雖能取消對來自低壓塔之氮的壓縮處理，但不能棄用增壓壓縮機。再者，此類設備配置的氮產率一般較差，且相應設備亦不適合氮的生產。

【發明內容】

【0008】 因此，本發明之目的在於提供一種方法及一種空氣分離設備，藉由該方法或該空氣分離設備，除了可在顯著的超大氣壓力水平上提供較大量的高純氣態氮之外，亦能以有利的方式提供氫。

【0009】 在此背景下，本發明提出一種具有獨立請求項之特徵的用於低溫分離空氣的方法與設備。較佳技術方案分別為從屬請求項及以下說明的主題。

【0010】 在闡述本發明的特徵與優點之前，先對本發明的一些基本原理進行詳細闡釋並對下文所使用的術語進行定義。

【0011】 空氣分離設備中所使用的裝置記載於被引用的專業文獻中，例如在Häring案（見上）中記載於第2.2.5.6節「Apparatus」中。考慮到本申請框架內的用語習慣，凡若以下定義並無不同者，則明確地提請參考被引用的專業文獻。

【0012】 在本案的用語習慣中，液體及氣體可能富或貧一種或數種組分，其中「富」可代表至少為75%、90%、95%、99%、99.5%、99.9%或99.99%的莫耳含量、重量含量或體積含量，「貧」可代表最高為25%、10%、5%、1%、0.1%或0.01%的莫耳含量、重量含量或體積含量。術語「佔優勢」可

等同於「富」的定義。此外，液體及氣體可能富集或耗盡一種或數種組分，其中此等術語係關於用以獲取該液體或氣體的初始液體或初始氣體中的含量。以初始液體或初始氣體為參照，若液體或氣體至少含有相應組分的1.1倍、1.5倍、2倍、5倍、10倍、100倍或1000倍含量，則稱之為「富集」，若液體或氣體最多含有相應組分的0.9倍、0.5倍、0.1倍、0.01倍或0.001倍含量，則稱之為「耗盡」。舉例而言，若述及「氧」、「氮」或「氫」，則亦指富氧、富氮或富氫但並非必須僅由氧、氮或氫構成的液體或氣體。

【0013】 本申請使用術語「壓力範圍」及「溫度範圍」來表徵壓力與溫度，此係為了表明，實現本發明理念時無需使用精確的壓力值及溫度值來說明相應設備中的相應壓力與溫度。但此等壓力與溫度通常在平均值上下1%、5%、10%或20%之特定範圍內波動。相應的壓力範圍及溫度範圍可處於不相交範圍或交疊範圍。例如壓力範圍尤其包含不可避免或可預見的壓力損失。溫度範圍亦如此。以bar為單位給出的壓力範圍係為絕對壓力。

【0014】 若述及「膨脹機」，則一般係指習知的渦輪膨脹機。此等膨脹機特別是亦可與壓縮機耦接。此等壓縮機可尤其為渦輪壓縮機。由渦輪膨脹機與渦輪壓縮機組成的相應組合通常亦被稱為「渦輪增壓器」。在渦輪增壓器中，渦輪膨脹機與渦輪壓縮機機械耦接，其中該耦接可以轉速相同（例如透過公共軸體）或轉速不同（例如透過自有傳動裝置）之方式實現。本案為一般性地使用術語「壓縮機」。「冷壓縮機」在此係指被提供遠低於0°C，特別是低於-50°C、-75°C或-100°C及至低於-150°C或-200°C之溫度範圍之流體流的壓縮機。相應的流體流特別是由主熱交換器（見下）冷卻至此溫度範圍內的溫度。

【0015】 「主空氣壓縮機」係用於壓縮被提供給空氣分離設備且在該處被分離的全部空氣。而在一個或數個可酌情設置的其他壓縮機如增壓壓縮機中，則是僅對此前已在主空氣壓縮機中被壓縮過的空氣的一部分進行進一步壓縮。相應地，空氣分離設備的「主熱交換器」係為至少用於冷卻被提供給空氣分離設備且在該處被分離之空氣的佔優勢部分的熱交換器。此係至少部分地在從空氣分離設備中導出的物料流的逆流中進行。在本案的用語習慣中，此等「被導出的」物料流或「產品」係為不再參與設備內部循環、而是從設備內部循環被持續抽取的流體。

【0016】 本發明框架內所使用的「熱交換器」可採用常規設計。熱交換器用於在至少兩個例如互為逆流而行的流體流之間間接傳熱，例如在一個熱加壓空氣流與一個或數個冷流體流之間，或者在一個酷冷液態空氣產品與一個或數個熱或較熱（視情況亦可能尚酷冷的）流體流之間。熱交換器可由單一的熱交換器段或數個並聯及/或串聯熱交換器段（例如一個或數個板式熱交換器塊）構成。例如為板式熱交換器（英文為**Plate Fin Heat Exchanger**）。此類熱交換器具有「通道」，該等通道形成為包含換熱面的分離式流體通路，並且平行地且被其他通道隔開地聯合成「通道組」。熱交換器之特徵在於，在熱交換器中於某個時間點上在兩種流動媒介（即，至少一個待冷卻流體流與至少一個待加熱流體流）之間進行熱交換。

【0017】 「冷凝蒸發器」係指可供第一冷凝流體流與第二蒸發流體流發生間接熱交換的熱交換器。任一冷凝蒸發器皆具有液化室及蒸發室。液化室及蒸發室具有液化通道或蒸發通道。第一流體流在液化室內冷凝（液化），第二

流體流在蒸發室內蒸發。蒸發室及液化室由相互之間存在熱交換關係的通道組成。

【0018】 在「強制流式」冷凝蒸發器中，液體流或兩相流受自身壓力作用而穿過蒸發室並在該處部分或完全蒸發。此壓力可例如由通往蒸發室的供給管路中的液柱產生。其中，此液柱的高度對應於蒸發室中的壓力損失。從蒸發室排出的氣液混合物在此類型之「一次通過式」冷凝蒸發器中按相分離後被直接送往下一個處理步驟或下游裝置，且特別是不被導入冷凝蒸發器的液浴中，否則液態剩餘部分會被該液浴重新吸入。

【0019】 「上」、「下」、「之上」、「之下」、「上方」、「下方」、「旁」、「並排」、「豎向」、「水平」等相對空間術語在此係關於空氣分離設備的精餾塔或其他組件正常運行時的空間定向。兩個組件「堆疊」佈置，在此係指兩個組件中的下方組件的上端與兩個組件中的上方組件的下端處於同一大地高度或較低的大地高度，並且兩個裝置部件在水平面中的投影彼此重疊。特別地，兩個組件精確地堆疊佈置，此係指兩個組件的軸線在同一條豎向直線上延伸。然而，兩個組件的軸線不必精確垂直地堆疊，而是亦可相對偏移，特別是在如下情況下：要求兩個組件中直徑較小的組件（例如精餾塔或塔部件）與冷箱板套之間的距離與直徑較大的另一組件與冷箱板套之間的距離一樣大。

本發明的優點

【0020】 在此背景下，本發明提出一種低溫分離空氣的方法，其中使用具有塔系統的空氣分離設備，該塔系統具有第一塔、第二塔、第三塔及第四塔。

【0021】 在本發明的空氣分離設備中，第一塔至第三塔特別是在習知的經典雙塔系統之基礎上擴增一個附加塔而形成，該附加塔係以高於傳統上所存在的高壓塔的壓力運行。

【0022】 在本發明框架內，特別是可在構造上與第二塔及第三塔分開地提供第一塔，下文還將參考所附圖式對此進行詳細闡述，其中第二塔及第三塔特別是可為雙塔的組成部分，且可藉由相應的冷凝蒸發器（所謂的主冷凝器）彼此處於熱交換連接。但亦可採用不同於此之佈置方式；本發明不限於上述說明。

【0023】 特別地，形成為雙塔組成部分的第二塔及第三塔在相應的多塔系統中亦可補充附加塔，或者第二塔及第三塔可作為單獨的塔被提供。由先前技術基本已知，前述的主冷凝器可作為內部或外部主冷凝器被提供。若使用內部主冷凝器，則其至少部分地浸入在第三塔底層中的底層液體中，並且來自第二塔的待冷凝頂部氣體經導引而穿過主冷凝器的冷凝室。

【0024】 同樣地，由空氣分離領域普遍已知，在第一塔中形成第一底層液體，在第二塔中形成第二底層液體，在第三塔中形成第三底層液體，並且在第四塔中形成第四底層液體。不同於第一塔至第三塔，第四塔在本發明框架內特別是用於獲取氫或者說用於從提取自第三塔的氣體混合物中分離氫。特別地，第四塔可為包含粗氫塔及精氫塔之習知配置中的傳統粗氫塔，但亦可為經

修改的氫塔，在不使用附加精氫塔之情況下於頂部下方從該氫塔提取純氫。在本發明框架內亦可採用其他變體。

【0025】 在本發明框架內，第一塔在第一壓力範圍內運行，第二塔在低於第一壓力範圍的第二壓力範圍內運行，第三塔在低於第二壓力範圍（且因而亦低於第一壓力範圍）的第三壓力範圍內運行。特別地，第四塔可在第三壓力範圍內運行或者在略低於第三壓力範圍的壓力範圍內運行，該壓力範圍特別是由連接第三塔與第四塔之管路的壓力損失形成。

【0026】 在本發明框架內，第二底層液體以高於第一底層液體的氧含量及高於第一底層液體的氫含量而形成，第三底層液體以高於第二底層液體的氧含量及低於第二底層液體的氫含量而形成。其中，第二底層液體的氫含量高於第一底層液體的氫含量，其成因係在於不同的運行條件，特別是運行第一塔及第二塔所使用的不同壓力，以及在於被送入第一塔及第二塔的物料流的不同組成。而第三塔中氫含量較低的原因則特別在於，從此第三塔提取富集氫的氣體，下文還將對此進行說明。

【0027】 在本發明框架內，具體而言，第一氧含量可為28%至40%，特別是約為34%，第二氧含量可為約45%至65%，特別是約為55%，且第三氧含量可為約99.0%至99.9%，特別是約為99.5%。其中，各百分比分別與相應的組分混合物中的氧的莫耳含量有關。因此，第三塔在本發明框架內係用作精氧塔，從該精氧塔可抽取相應的純氧產品。反之，第一及第二底層液體通常不作為產品，而是在設備中接受進一步處理。

【0028】 在本發明框架內，一般性地將流體從第一塔至少送入第二塔。從第一塔被送入第二塔的流體特別是可包括第一塔的底層液體，該底層液體蒸

發、膨脹並被送入第二塔。特別是可將流體從第一塔送入第二塔及第三塔。將來自第二塔的流體至少送入第三塔，將來自第三塔的流體至少送入第四塔，並且將來自第四塔的流體至少送入第三塔。

【0029】 特別地，當述及將來自一個塔的「流體」「至少」送入另一個塔時，其係指相應流體流的直接或間接轉移。特別地，相應流體的轉移亦可包括先將其送入冷凝蒸發器或其蒸發室中，而後液態部分及/或氣態部分從冷凝蒸發器或其蒸發室被轉移到另一個塔中。如此一來，此流體導引亦是將流體從一個塔轉移到另一個塔。當相應流體僅部分地被轉移時，例如當流體富集或耗盡某些組分且/或被分成若干分流時，亦是如此。

【0030】 被轉移流體可包括相應塔的頂部氣體、底層液體及/或側流。其中，「側流」係指在不同的分隔塔板或分隔區段之間提取自相應塔的材料流，頂部氣體則是指在最上面的分隔塔板或分隔區域以上從塔中提取的氣體混合物，底層液體係指在最下面的分隔塔板或分隔區域以下提取自相應塔的液體。底層液體特別是以液態物料流之形式被導出，頂部氣體特別是以氣態物料流之形式被導出。然而，亦可例如在底層正上方、但尚在最下面的分隔區段或者說最下面的分隔塔板以下提取液態或氣態物料流。側流可液態或氣態存在。液態側流可例如從阻液裝置或止流塔板提取。

【0031】 在本發明框架內，從第三塔被送入第四塔的流體包括以低於第三底層液體的氧含量及高於第三底層液體的氬含量從第三塔提取的側流的至少一部分。其中，特別是在前述氬通道(Argonübergang)的區域中從第三塔提取側流，但亦可在氬通道下方提取側流。其中，相應側流特別是一種氬含量高於底層液體但低於頂部氣體之氣體混合物。

【0032】 本發明的一個重要態樣為：藉由冷凝第一塔的頂部氣體以形成回流液體，並且將此回流液體液態回輸到第一塔上。其中，「在使用」頂部氣體的情況下形成回流液體，特別是可包括：從第一塔氣體提取頂部氣體，在下文還將予以詳細說明的冷凝蒸發器中至少部分地液化此頂部氣體，並且將液態部分至少部分地回輸到第一塔上。

【0033】 根據本發明，為了對第一塔的頂部氣體進行上述冷凝，使液態冷卻流在間接熱交換中逆著頂部氣體蒸發或部分蒸發。根據本發明，進一步地，冷卻流蒸發或部分蒸發時所形成的氣體（有可能剩下的液體可被預先分離）膨脹做功而減壓至第二壓力範圍的壓力（即第二塔的工作壓力）並被送入第二塔中。相應膨脹的氣體可為蒸發或部分蒸發時所形成的氣體的一部分，或者亦可僅為其一部分。特別地，可在第一壓力範圍的壓力上提供液態冷卻流，並且在蒸發或部分蒸發之前例如藉由閥門將冷卻流膨脹減壓至略低於上述壓力的壓力，例如介於第一壓力範圍與第二壓力範圍之間的範圍。而後，在蒸發之後並且在送入第二塔之前，在蒸發下游以上述做功形式進一步膨脹減壓至第二壓力範圍的壓力。

【0034】 本發明提出一種能耗低於至今處於研發中之方法的方法以作為替代方案。此係特別用來與習知的所謂SPECTRA法及其變體進行對比。然而，例如聯繫圖4所述，本發明亦可與此種SPECTRA法及其變體結合使用。

【0035】 SPECTRA法例如披露於EP 2 789 958 A1及該案所引用的專利文獻。簡單地說，其係為一種單塔法。然而，藉由提供其他的塔，亦可為SPECTRA法擴增氧獲取及氫獲取功能。SPECTRA法能實現較高的氮產率。

【0036】 從亦被提供輸入空氣之主要量的、用於獲取氮的精餾塔以一個或數個物料流的形式提取相對於大氣空氣富集氧的酷冷液體，並且在冷凝蒸發器中加熱之，該冷凝蒸發器用於冷卻並冷凝同一個塔的至少一部分頂部氣體。相應冷凝的頂部氣體至少部分地被回輸到此前提取該頂部氣體的塔上。在傳統的SPECTRA法中，待蒸發流體可以僅一個物料流之形式或者以兩個或數個分開的第一物料流之形式穿過冷凝蒸發器。

【0037】 使用一個或數個壓縮機對相應蒸發的流體的一部分進行冷壓縮（意即，在遠低於0°C的溫度水平上，特別是在-50°C或更低的溫度水平上），而後將其送回此前提取該流體的塔中。該一個或數個壓縮機可與一個或數個膨脹機耦接，特別是可與兩個並聯佈置的膨脹機中的一個耦接，且可至少部分地被該或該等膨脹機驅動。蒸發流體的另一部分在該或該等膨脹機中膨脹並被導出空氣分離設備。

【0038】 本發明特別是基於以下認識：不採取本發明所提出的措施便不能充分發揮同類型方法之潛力。一個相關指標為：在此等同類型方法中，在用於冷凝以最高壓力工作的第一精餾塔的頂部氣體的冷凝器中，存在仍相當高的溫差。考慮到對氮產品壓力及第一壓力水平（例如11 bar；輸入空氣相應地被高度壓縮）的要求，以往方案係將此冷凝器設計成具有相當高的液靜壓壓力損失（約為150至200 bar）且平均溫差為2.5 K（或更多）之浴冷凝器。在相應製程中，此會導致相當多的能量「滅失」，在本發明框架內則不會出現此種情況。

【0039】 在非本發明的替代方案中有基於不同於SPECTRA法的製程拓撲而配設數個精餾塔者，其另一個（可被視為不足的）點係在於，為了產生製冷

量而將空氣（約為輸入空氣量的10%至15%）吹入在中等壓力下工作的第二精餾塔。此空氣量並不在第一（主）精餾塔中接受精餾以獲取高壓氮產品，因此，相應的解決方案在氮產率方面必然存在相應不足。

【0040】 若採取本發明所提出的措施，便不再需要相應吹入主要用於製冷的輸入空氣，因為作為替代方案，可使用在冷凝蒸發器中蒸發的冷卻流體。此冷卻流體有利地來自於第一精餾塔的底層液體，因而已參與過該處所進行的精餾。藉此提高本發明所提出的方法中的效率與產率。

【0041】 換言之，本發明建議如下：產生製程用冷(Prozesskälteleistung)時，不使用（或者至少不僅只使用）第二精餾塔的輸入空氣流，而是使用在冷凝蒸發器（頂部冷凝器）中蒸發的流，即在此被稱為「冷卻流」的物料流。其中，本發明的一個重要態樣包括但不限於利用第二精餾塔的工作壓力（即相當於第二壓力範圍）與冷凝頂部氣體所使用之冷凝器中的蒸發壓力之間的差壓來製冷以及減小第二精餾塔的空氣「吹入量」。

【0042】 上述冷凝器中的溫差愈小，則該冷凝器中的蒸發壓力愈高（且進而愈有利於製冷程序）。因此，該冷凝器有利地不實施為浴冷凝器，而是特別是實施為最小溫差盡可能小的強制流式冷凝器。

【0043】 為了取得上述優點，換言之，有利地在使用第一底層液體的至少一部分的情況下形成前述冷卻流（該冷卻流取代空氣經膨脹處理以製冷），且/或，有利地使用強制流式冷凝蒸發器來冷凝第一塔的頂部氣體並蒸發冷卻流。關於術語「強制流式冷凝蒸發器」，明確地提請參考前述說明。

【0044】 在本發明的一個尤佳技術方案（該技術方案以此方式而為SPECTRA法的一部分）中，為了冷凝第一塔的頂部氣體，進一步地，其他的液

第12頁，共 30 頁(發明說明書)

態冷卻流在間接熱交換中逆著頂部氣體蒸發或部分蒸發，其中該其他冷卻流在底層上方從第一塔被提取，並且在蒸發或部分蒸發之後至少部分地被壓縮並被回輸到第一塔中。在該其他冷卻流或其一部分蒸發後對其所實施的壓縮特別是在一個或數個壓縮機中進行，該或該等壓縮機與一個或數個膨脹機機械耦接，並且特別是進一步地被制動。該壓縮特別是在低於 0°C 、尤其低於 -50°C 的溫度水平上進行，例如在 -100°C 至 -150°C 下進行。該一個壓縮機或該等數個壓縮機特別是對由第一塔之底層液體所形成的冷卻流的剩餘殘餘物進行壓縮，該冷卻流未經壓縮而被回輸到第二塔中。被壓縮的此殘餘物特別是被壓縮至第一壓力範圍的壓力並且被回輸到第一塔中。

【0045】 在本發明框架內，前述第一壓力範圍特別是為9 bar至12 bar，第二壓力範圍特別是為4 bar至6.5 bar，且第三壓力範圍特別是為1 bar至2 bar。然而，例如相對於前文聯繫傳統空氣分離設備所提及的1.4 bar之壓力值，亦可進一步降低第三壓力範圍，特別是降低50 mbar至200 mbar。相應地，例如相對於前文所提及的5.3 bar的值，亦可將第二壓力範圍降低120 mbar至500 mbar。特別地，倘若如下所述將來自用於冷凝第四塔之頂部氣體的冷凝蒸發器的蒸發室的氣體用作再生氣體，則相應的壓力降低是可能的。其中，此冷凝蒸發器中起驅動作用的溫差亦減小。

【0046】 在將壓力降低至上述值以及在進一步降低壓力時，可藉由增大第一壓力範圍與第二壓力範圍之間的壓力差或者藉由降低膨脹時的出口壓力來相應提高製冷量。如前所述，所給出的壓力在此係分別為塔頂處的絕對壓力。因此，第一壓力範圍高於傳統上用於空氣分離設備之高壓塔的壓力。在本發明

框架內，第二塔特別是可在低於傳統空氣分離設備中所使用的高壓塔的壓力範圍上運行。但原則上亦可為相同壓力。

【0047】 藉由使用本發明，若冷凝第一塔的頂部氣體以及蒸發冷卻流所使用的冷卻流係在使用第一塔的第一底層液體的情況下形成，則鑒於所存在的壓力條件便不需要用泵來輸送液氮。藉此減小低溫系統中的熱輸入，並且與原則上同樣可使用更富氧的流體不同，由於蒸發液體中的氧含量更低而存在更高的驅動性溫差。藉此實現更高的蒸發壓力並相應提高渦輪功率。

【0048】 特別地，藉由本發明的措施而取得的渦輪功率（製程用冷）對於液體產量相對較低的「氣體」設備是足夠的，例如在要求氮產品壓力為11 bar（該要求氮產品壓力亦相當於第一壓力範圍的壓力）之情況下。在此種配置中不需要其他渦輪。此外，在此配置中不需要將空氣吹入第二塔，或者說不需要設置第一塔的旁路。然而，附加渦輪可用於液體產量較高的工況。

【0049】 在本發明所提出的方法中，從第一精餾塔中特別是提取富氮氣體作為產品，加熱之並在第一壓力範圍的壓力上將其輸出設備。以此方式，無需進一步壓縮便可提供相應壓力範圍的氮產品。

【0050】 在本發明框架內，與前述的用以取代蒸發冷卻流的輸入空氣膨脹相比，以主空氣壓縮機的功率為參照，藉由提高氮產品產率以及提高渦輪功率的回收率，總體上可取得5%至6%的能耗優勢。舉例而言，此相當於減少了大約500 kW的能耗，且進而相當於降低了超過一百萬歐元的TCO（Total Cost of Ownership，總體擁有成本）成本。藉由本發明所提出的措施，總體上可減少所需空氣使用量，從而減小「熱」設備部分。如此一來，亦可使用更小的熱

交換器（在MTD值相同的情況下，kF值大約減小6%）。若使用強制流式冷凝蒸發器，則由於蒸發壓力相當高（通常超過7 bar）而不會發生可燃烴的富集。

【0051】 本發明可設置用於為冷卻流調溫或不調溫的不同可能性，該等可能性可分別提供一定的能耗優勢。冷卻流蒸發或部分蒸發時所形成的氣體做功膨脹並被送入第二塔，可在膨脹前加熱該氣體。為此可特別使用空氣分離設備的主熱交換器。以此方式可藉由相應的冷對輸入流進行冷卻並相應調整熱交換器剖面(Wärmetauscherprofil)。冷卻流蒸發或部分蒸發時所形成的氣體做功膨脹並被送入第二塔，亦可在該蒸發或部分蒸發後該氣體所處的溫度上對該氣體進行該膨脹處理；亦即，在此技術方案中不進行進一步的調溫。

【0052】 在本發明的一個在給定條件下同樣能提供能耗優勢的實施方式中，冷卻流蒸發或部分蒸發時所形成的氣體做功膨脹並被送入第二塔，可在從用於膨脹的膨脹機中提取該氣體時所處的溫度上將該氣體送入第二塔。作為替代方案，亦可在膨脹之後進行加熱。

【0053】 在本發明的一個尤佳技術方案的框架內，第四塔的頂部氣體的至少一部分在冷凝蒸發器的冷凝室中冷凝，從該冷凝蒸發器的蒸發室提取氣體混合物。

【0054】 在本發明的一個技術方案中，此氣體混合物的一部分及/或來自第三塔之上部區域的殘餘氣體的至少一部分（即，從第三塔提取的氣體混合物的至少一部分）可用於形成回輸流且同時被加熱、壓縮、冷卻並且被送入第二塔。在本發明框架內，特別是可使用空氣分離設備的主熱交換器來加熱及冷卻上述回輸流。

【0055】 特別地，來自冷凝蒸發器之蒸發室的氣體混合物的（另）一部分可用作用於吸附器的再生氣體，在該吸附器中對被提供給塔系統的輸入空氣進行處理。特別地，此係可在相應的蒸發壓力下進行。特別地，上述吸附器在不使用再生氣體的情況下運行，該再生氣體提取自第三塔並且以與在第三塔中時相同的組成被提供給吸附器。舉例而言，來自第三塔的上部區域的氣體以及來自此塔的下部區域的氣體可合併並且作為聯合流在主熱交換器中被加熱並用作再生氣體。

【0056】 在本發明的一個尤佳技術方案中，從冷凝蒸發器之蒸發室提取的氣體混合物的至少一部分用作第一再生氣體部分，並且，從第三塔提取的氣體或上述氣體混合物的至少一部分用作第二再生氣體部分。在此情況下，特別是第二再生氣體部分在低於第一再生氣體部分的壓力上被提供，被壓縮並且在被提供給吸附器之前與第一再生氣體部分合併。亦即，將來自第三塔的殘餘氣體與來自氫塔的頂部冷凝器的氣體合併。

【0057】 上述技術方案特別是在以下情況下是有利的：預冷卻時未使用製冷機，因而對再生氣體的需求比較高。在此情況下，來自冷凝蒸發器的氣體量不夠用作再生氣體量。因此，對來自低壓塔（即第三塔）的殘餘氣體的分流進行再壓縮（壓力差約為50 mbar至200 mbar）並將其與另一個流合併。若對氣態氮產品中的氫含量的要求比較高，則亦能取得優點。在此情況下無法選擇任意低的分子篩（即吸附器）進氣溫度，否則（吸附器中為此而設置的專用觸媒層上的）氫移除會不夠充分。在此情況下，來自冷凝蒸發器的氣體量亦可能不夠用作再生氣體量。

【0058】 在本發明的一個尤佳技術方案中，向冷凝蒸發器（第四塔的頂部氣體至少部分地在該冷凝蒸發器的冷凝室中冷凝）的蒸發室提供第一底層液體的一個部分，並且使該部分部分蒸發，其中在此部分蒸發過程中形成前述氣體混合物。換言之，在此技術方案中係使用第一塔的底層液體來冷卻粗氫塔或者說所存在的唯一一個氫塔的頂部冷凝器。若存在作為第五塔的精氫塔，則亦可使用相應的底層液體來冷卻該精氫塔的頂部冷凝器，參見下文。

【0059】 一般而言，接下來亦可將來自第一塔的底層液體的已蒸發及未蒸發部分（該等已蒸發及未蒸發部分已在第四塔或者第四塔及第五塔的該或該等冷凝蒸發器中被使用過）至少部分地轉移到第三塔中（視情況扣除在吸附器中被使用的部分），且是在對應於此等流體之氧含量及氫含量的位置上。因此，基本上可在相同部位處將已蒸發及未蒸發部分送入第三塔。上述物料流可合併地或彼此分開地轉移到第三塔中。如此一來，從第一塔轉移到第三塔中的流體包括相應的液體，即用於冷卻第四塔或第四塔及第五塔之該或該等頂部冷凝器的第一底層液體的至少一部分。視情況亦可放棄對來自該或該等頂部冷凝器的已蒸發部分的饋送，並且在不將其送入第三塔的情況下，將此等已蒸發部分作為該方法之輸出物，如同前述回輸流以及吸附器中所使用的部分。但在此情況下，第一底層液體的一部分亦與未蒸發液體一起被送入第三塔。

【0060】 根據本發明的一個技術方案，從第二塔被送入第三塔的流體可包括第二底層液體的至少一部分，該至少一部分在不使用泵的情況下從第二塔轉移到第三塔中。根據此技術方案，相應的底層液體可以僅基於第二塔與第三塔之間的壓力差而轉移到第三塔中。然而，該至少一部分亦可事先或者在轉移時逆著其他流被過冷式逆流熱交換器過度冷卻。

【0061】 可在明確的提取位置上從第一塔提取頂部氣體，並且在相應的壓力範圍內將頂部氣體作為氮加壓產品導出空氣分離設備。

【0062】 如前所述，本發明可與精氫塔（即第五塔）結合使用，流體從第四塔轉移到該第五塔中，其中從第四塔轉移的流體的氫含量高於提取自第三塔且至少一部分被轉移至第四塔的氣體混合物中的氫含量。亦即，如同由空氣分離技術領域基本已知的，第五塔在本發明框架內係用於獲取相應的氫產品。

【0063】 其中，有利地藉由其他冷凝蒸發器來冷凝第五塔的頂部氣體，第二底層液體的另一部分在該其他冷凝蒸發器中部分蒸發。明確地提請參閱前述說明。

【0064】 特別地，在本發明框架內以低於第三底層液體的氧含量及高於第三底層液體的氫含量而形成且從第三塔被提取的側流在接收氧耗盡氣體混合物及富氧液體的情況下在其他塔中接受處理，其中來自其他塔的氧耗盡氣體混合物的至少一部分可被送入第四塔。以此方式，側流的一部分經由其他塔的旁路而進入第四塔。其他塔特別是形成為兩部分並且包括兩個堆疊佈置的部分，該等部分被流體密封的分隔塔板隔開，其中至少在上部的頂部處（視情況亦在下部的頂部處）提取氧耗盡氣體混合物，並且從下部的底層提取富氧液體。來自第三塔的側流特別是被氣態送入上部的下部區域。特別是從上部的底層提取液體並將該液體回輸到第三塔中。第四塔的底層液體特別是作為回流被送到上部的頂部處，但亦可部分地作為回流被送到下部上。在此種配置中，下部起到（高純）氧塔的功能。不同的技術方案圖示於所附圖式中。

【0065】 最後，本發明係關於一種空氣分離設備，關於其特徵，明確地提請參閱相應的獨立請求項。此種空氣分離設備特別是用於實施上文以不同技

術方案所闡述的方法，並且具有相應構件。關於相應的空氣分離設備的特徵與優點，明確地提請參閱有關本發明之方法的說明。

【0066】 下面將參考所附圖式對本發明進行詳細闡述，所附圖式圖示本發明的技術方案以及非本發明的實施方式。

【圖式簡單說明】

無

【實施方式】

【0067】 圖1至圖4示出空氣分離設備，該等空氣分離設備中落入申請專利範圍之保護範圍者，分別對應於本發明的技術方案，否則便是與背景技術及/或非本發明的技術方案有關。根據圖1至圖4的空氣分離設備分別總體上以符號100至400標示。以下闡述係關於相應的空氣分離設備100至400，但其同樣與相應方法有關。圖示於圖5中的空氣分離設備500呈現為圖1中所示出的空氣分離設備100的變體。此處所圖示的態樣亦可實現為其他設備，特別是設備200至400。以下闡述，特別是針對根據圖1的設備100的闡述，同樣與設備500有關，即使未具體參考之。

【0068】 圖1至圖4中示出的所有空氣分離設備100至400皆配設有塔系統，撇開設計區別與塔數區別不談，該塔系統總體上用10標示。其中，塔系統10分別具有第一塔11、第二塔12、第三塔13及第四塔14。

【0069】 第二塔12及第三塔13分別形成為基本為習知類型之雙塔的一部分。在此情況下明確地提請參考開篇所引用的關於空氣分離設備之專業文獻，特別是關於Häring案（見上）的圖2.3A的闡述，該圖示出相應的雙塔。

【0070】 第一塔11與第二塔12及第三塔13分開形成。第一塔11配設有冷凝蒸發器111，該冷凝蒸發器用於冷凝第一塔11的頂部氣體並且在根據圖1至圖3的技術方案中形成為經典的頂部冷凝器。來自第一塔11的底層液體被送入在圖示示例中分別形成為強制流式冷凝蒸發器的冷凝蒸發器111，該底層液體的輸送不使用泵。

【0071】 此處所圖示的本發明技術方案的一個重要態樣分別為：藉由冷凝第一塔11的頂部氣體而形成回流液體，並且將該回流液體回輸到第一塔11上。其中，為了冷凝第一塔11的頂部氣體，使得在使用上述來自第一塔11的底層液體的情況下而形成的液態冷卻流逆著第一塔11的頂部氣體蒸發或部分蒸發。藉由膨脹機5使冷卻流蒸發或部分蒸發時所形成的氣體膨脹做功而減壓至第二壓力範圍的壓力並將該氣體送入第二塔12中。

【0072】 第二塔12及第三塔13透過內部的冷凝蒸發器121（所謂的主冷凝器）彼此處於熱交換連接。主冷凝器121一方面用於冷凝第二塔12的頂部氣體，另一方面用於蒸發第三塔13的底層液體。作為此處所圖示的技術方案的替代方案，第二塔12及第三塔13亦可分開形成。作為替代方案，主冷凝器121亦可形成於外部。不同類型的冷凝蒸發器皆可用作主冷凝器121。

【0073】 第四塔14在根據圖1至圖4的所有空氣分離設備100至400中皆用於氫的獲取。在圖示示例中不存在粗氫塔，而是設備100至400分別形成為用於

從第四塔14提取氫產品。關於粗氫塔與精氫塔以及相應修改，同樣可參閱前述專業文獻中的引文。

【0074】 第四塔配設有冷凝頂部氣體的冷凝蒸發器（頂部冷凝器）141。在根據圖1至圖3的技術方案中，以來自第一塔11的一部分底層液體冷卻此冷凝蒸發器，而在根據圖4的技術方案中，則是使用來自第二塔12的底層液體。所使用的底層液體事先由過冷式逆流熱交換器18過度冷卻。在此處所圖示的示例中，頂部冷凝器141中的未蒸發部分至少部分地被送入第三塔13中。在此處所圖示的示例中，蒸發部分則用於吸附器的再生，若是在根據圖3的空氣分離設備300中，則是用於形成回輸流，下文還將對此進行說明。

【0075】 在根據圖1至圖4的所有空氣分離設備100至400中皆設有其他塔15，在該其他塔中，在來自第四塔14的一部分底層流與來自第三塔13的側流之間進行物質交換，並且來自第四塔14的一部分底層流耗盡了更易揮發的組分。其他塔15具有在功能上完全相分離的上部區域及下部區域。進一步的細節將在下文中予以說明。其他塔15配設有冷凝蒸發器152，以來自第二塔12的頂部氣體為該冷凝蒸發器加熱。

【0076】 作為直接對應於塔系統10的組件，在根據圖1至圖3的所有空氣分離設備100至300中皆存在泵19，該泵將來自第四塔14的底層液體回輸到其他塔15中。

【0077】 在根據圖1至圖4的所有空氣分離設備100至400中皆在第一塔11中形成底層液體，該底層液體在此被稱為第一底層液體。相應地，在第二塔12中形成第二底層液體，在第三塔13中形成第三底層液體，在第四塔14中形成第四底層液體。第一塔11在第一壓力範圍內運行，第二塔12在低於第一壓力範圍

的第二壓力範圍內運行，第三塔13在低於第二壓力範圍的第三壓力範圍內運行。第二底層液體以高於第一底層液體的氧含量及高於第一底層液體的氫含量而形成，第三底層液體以高於第二底層液體的氧含量及低於第二底層液體的氫含量而形成。關於壓力範圍以及氧含量及氫含量，請參閱前述相關闡述。

【0078】 在根據圖1至圖4的所有空氣分離設備100至400中，皆以下述方式將流體從第一塔11送入第二塔12（且在根據圖1至圖3的空氣分離設備100至300中進一步送入第三塔13）。此外，將流體從第二塔12送入第三塔13以及將流體從第四塔14送入第三塔13。在根據圖1至圖4的所有空氣分離設備100至400中，從第三塔13被送入第四塔14的流體皆包括以低於第二底層液體的氧含量及高於第二底層液體的氫含量從第三塔13提取的側流的至少一部分。至少在此處所圖示的技術方案中，上述其他流體分別包括相關底層液體的至少一部分。在所有情況下皆可進行直接饋送或者透過連接在兩塔之間的頂部冷凝器或類似之物進行饋送，並且可進行相應的部分饋送。

【0079】 接下來，首先將特別是詳細闡述根據圖1的空氣分離設備100。為清楚起見，關於根據圖2至圖4的空氣分離設備200、300及400的闡述分別僅涉及不同於此之特徵。在圖2、圖3及圖4中，相同特徵亦僅部分地以相應符號標示。

【0080】 在根據圖1的空氣分離設備100中，藉由主空氣壓縮機1並透過未單獨標號的、圖示為陰影線的過濾器從在此一般性地以A標示的大氣中吸入輸入空氣流a，在同樣未單獨標號的再冷器中對該輸入空氣流進行再冷卻並將其提供給以冷卻水W運行的直接接觸式冷卻器2。

【0081】 在直接接觸式冷卻器2中所進行的預冷卻之後，在吸附裝置3中以文獻中多次提到的方式為進一步以a標示的輸入空氣流去除水及二氧化碳。可藉由再生氣流z將前文中亦一般性地被稱為「吸附器」的吸附裝置3再生。再生氣流z的形成將在下文中說明。

【0082】 進一步以a標示的、經相應處理且因而經提純的輸入空氣流在熱側被提供給主熱交換器4。在冷側或者說在主熱交換器的冷端處從主熱交換器4提取輸入空氣流a並送入第一塔11。

【0083】 從第一塔11中抽取該塔的底層液體，並且在根據圖1至圖3的空氣分離設備100至300中將該底層液體分成兩個分流d及e。分流d在此被送入冷凝蒸發器111中並蒸發。接著，已蒸發的分流d在主熱交換器4中被部分加熱，而後在與發電機G耦接的膨脹機5中膨脹減壓至第二塔12的工作壓力，並且在下部區域中被送入此第二塔12。底層液體在根據圖4的空氣分離設備400中所接受的處理不同於此。詳見下文。

【0084】 而在根據圖1至圖3的空氣分離設備100至300中，分流e則是經導引而穿過過冷式逆流熱交換器18且接著穿過冷凝蒸發器141。如圖中的關聯符(Verknüpfung) f所示，亦可將一部分送入第二塔12。頂部冷凝器141中所形成的氣體可用作前述再生氣流z。為此，先後在過冷式逆流熱交換器18及主熱交換器4中加熱該氣體。如此處的物料流g所示，液態的剩餘部分被送入第三塔13。在根據圖4的空氣分離設備400中未形成相應的分流e或f。此處亦明確地提請參考下文的具體闡述。

【0085】 第一塔11的頂部氣體部分地以物料流h之形式經導引而穿過頂部冷凝器111的冷凝室並作為液態回流被回輸到第一塔11上。另一部分以物料流i

的形式在主熱交換器4中被加熱並且作為氣態氮加壓產品從空氣分離設備100中被導出或另作他用。

【0086】 第二塔12的底層液體以物料流j的形式從該塔中被抽取，經導引而穿過過冷式逆流熱交換器18並被送入第三塔13。在根據圖4的空氣分離設備400中，物料流j代替起冷卻作用的物料流e（見上）穿過冷凝蒸發器141。空氣分離設備400的頂部冷凝器141中所形成的氣體在此亦可用作再生氣流，為方便起見，該再生氣流同樣以z標示。在根據圖4的空氣分離設備400中，進一步將氣體從頂部冷凝器141或其蒸發室送入第三塔13中。如圖4中的物料流g所示，液態的剩餘部分被送入第三塔13。

【0087】 第二塔12的頂部氣體部分地以物料流k之形式經導引而穿過主冷凝器121的冷凝室，在該處液化並且仍部分地作為液態回流被回輸到第二塔12上。另一部分以物料流l的形式在冷凝蒸發器152的冷凝室中液化。在根據圖1至圖3的空氣分離設備100至300中，如圖中的關聯符l所示，此另一部分與在主冷凝器121的冷凝室中液化的部分合併。相應的液體亦可作為回流被泵6送到第一塔11上。在根據圖1至圖3的技術方案中，泵6係輸送在上部區域中從第二塔12提取的液態富氮流b。在根據圖1至圖3的示例中，來自第二塔12的頂部氣體的另一部分以物料流c的形式從設備中輸出。

【0088】 在根據圖3的空氣分離設備400的技術方案中，不發生物料流k的液化部分與物料流l之合併。確切而言，物料流k的部分在液化之後彼此分開地被送到第二塔12及第三塔13上。物料流l單獨地被送入第三塔13。

【0089】 第三塔13的底層液體以物料流o的形式從該塔中被抽取，被內壓縮泵7液態加壓，在主熱交換器4中經加熱而轉變成氣態或臨界狀態並且作為氣

態氮加壓產品從空氣分離設備100中被導出或另作他用。在底層上方從第三塔13以物料流p之形式提取的氣體則與來自第三塔13的殘餘氣體（見下）合併成收集流q，該收集流接下來在主熱交換器4中被加熱並且從空氣分離設備100中被導出或另作他用。

【0090】 第三塔13的頂部氣體以物料流r的形式經導引而穿過過冷式逆流熱交換器18，並且在根據圖1至圖3的空氣分離設備100至300中，如前所述與物料流o合併成收集流q。在根據圖4的空氣分離設備400中進行單獨導出。

【0091】 此外，從第三塔13中氣態抽取側流t並且將其先送入其他塔15的上部。物料流u則是從其他塔15的上部被液態回輸到第三塔13中。其中，在其他塔15的上部與來自第四塔14的底層液體進行物質交換，在根據圖1至圖3的空氣分離設備100至300中，該底層液體以物料流v的形式被液態送到其他塔15的上部及下部。在根據圖4的空氣分離設備400中，物料流v僅被送入其他塔15的上部。

【0092】 在其他塔15的下部，更易揮發的組分被冷凝蒸發器152加熱而排出。分別從其他塔15的上部及下部抽取氣體，在根據圖1至圖3的空氣分離設備100至300中，該氣體以物料流w的形式被送入第四塔14。而在根據圖4的空氣分離設備400中，僅為第四塔14提供來自其他塔15的上部的氣流w'。其他塔15的上部與下部之間的氣體交換及液體交換在此係以物料流w''及w'''之形式進行。如此一來，側流t的一部分最終被送入第四塔14，並且最終有一部分底層液體從第四塔被回輸到第三塔13中。在此處所圖示的所有示例中，其他塔15亦可例如分別佈置於第一塔11的頂部冷凝器111上方。

【0093】 來自其他塔15的下部的底層液體以物料流x的形式被抽取並且在圖示示例中被送入儲罐系統T。需要時從儲罐系統T提取為清楚起見而同樣以x標示的物料流，該物料流在主熱交換器4中蒸發並作為高純氣態氧產品被輸出。

【0094】 富氫液體以物料流y的形式從第四塔14被提取，被其他的內壓縮泵8液態加壓，在主熱交換器4中經加熱而轉變成氣態或臨界狀態並且作為氣態氫加壓產品從空氣分離設備100中被導出或另作他用。在根據圖4的空氣分離設備400中，在此情況下進一步圖示相應的儲罐系統T'。

【0095】 作為設備100的其他產品，可提供基本上習知的液氮、液氧（視情況亦可具有不同純度）及液氫，圖中例如以第一塔11的液化頂部氣體h的分流之形式示出。在根據圖4的空氣分離設備400的技術方案中，進一步示出藉由物料流h'將液氮送入冷凝蒸發器111中。

【0096】 圖示於圖2中的、根據本發明的技術方案而形成的空氣分離設備200與圖1所示的空氣分離設備之間的主要區別在於，物料流d在膨脹機8中膨脹之前未被加熱。

【0097】 圖示於圖3中的空氣分離設備300與圖2所示的空氣分離設備200之間的主要區別在於，在主熱交換器4的熱側對物料流z進行劃分，其中物料流z的分流z'被壓縮機9壓縮，在主熱交換器4中冷卻並被送入第二塔12。除此之外，空氣分離設備300亦可等同於圖1所示的空氣分離設備100。

【0098】 圖4所示的空氣分離設備400聯繫習知的SPECTRA工藝對本發明所提出的措施進行圖示。其中，除了前述的底層流d外，還從第一塔11提取底

層上方的其他物料流d'，且該其他物料流與物料流d一樣在主熱交換器4中被再次冷卻。而後在冷凝蒸發器111中進行蒸發。

【0099】 物料流d的一部分在與發電機G耦接的膨脹機5中膨脹並且如前所述（見關聯符D）被送入第二塔12中。物料流d的剩餘殘餘物在主熱交換器4中被部分加熱，隨後在與壓縮機402及制動器403耦接的其他膨脹機401中膨脹。接著從空氣分離設備400中導出。液化物料流h的一部分被液態導出並且視情況逆著同一個物料流的一部分在過冷器404中被過度冷卻。用於過度冷卻的部分可與物料流d的膨脹殘餘物合併。

【0100】 物料流d'則是在冷凝蒸發器111中蒸發之後至少部分地在壓縮機402中被壓縮，在主熱交換器4中被再度冷卻並被導回到第一塔11中。

【0101】 如前所述，圖示於圖5中的空氣分離設備500呈現為根據圖4的空氣分離設備100的變體。具體而言，該變體的特徵係在於對風機501的使用，藉由該風機使物料流q的一部分（在此以q'標示）達到物料流z的壓力並被饋入該物料流中。

【0102】 如前所述，此種技術方案特別是在以下情況下是有利的：對輸入空氣進行預冷卻時未使用製冷機，因而對再生氣體的需求比較高。若對氮產品中的氮含量的要求比較高，則亦能取得優點。請參閱前述相關說明。

【符號說明】

【0103】

1:主空氣壓縮機

2:直接接觸式冷卻器

- 3: 吸附裝置
- 4: 主熱交換器
- 5: 膨脹機
- 6: 泵
- 7: 內壓縮泵
- 8: 內壓縮泵/膨脹機
- 9: 壓縮機
- 10: 塔系統
- 11: 第一塔
- 12: 第二塔
- 13: 第三塔
- 14: 第四塔
- 15: 塔
- 18: 過冷式逆流熱交換器
- 19: 泵
- 100: 空氣分離設備/設備
- 111: 冷凝蒸發器
- 121: 冷凝蒸發器/主冷凝器
- 141: 冷凝蒸發器/頂部冷凝器
- 152: 冷凝蒸發器
- 200: 空氣分離設備/設備
- 300: 空氣分離設備/設備

400:空氣分離設備/設備

401:膨脹機

402:壓縮機

403:制動器

404:過冷器

500:空氣分離設備

501:風機

A:大氣

a:輸入空氣流

b:液態富氮流

c:物料流

D:關聯符

d:分流/物料流/底層流

d':物料流

e:分流/物料流

f:關聯符/分流

G:發電機

g:物料流

h:物料流/液化頂部氣體/液化物料流

h':物料流

i:物料流

j:物料流

- k:物料流
- l:物料流/關聯符
- o:物料流
- p:物料流
- q:收集流/物料流
- q':物料流q的一部分
- r:物料流
- T:儲罐系統
- T':儲罐系統
- t:側流
- u:物料流
- v:物料流
- W:冷卻水
- w:物料流
- w':氣流
- w'':物料流
- w''':物料流
- x:物料流
- y:物料流
- z:再生氣流/物料流
- z':分流

【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種低溫分離空氣的方法，其中使用具有塔系統(10)的空氣分離設備(100至500)，該塔系統具有第一塔(11)、第二塔(12)、第三塔(13)及第四塔(14)，其中，

- a) 在該第一塔(11)中形成第一底層液體，在該第二塔(12)中形成第二底層液體，在該第三塔(13)中形成第三底層液體，並且在該第四塔(14)中形成第四底層液體，
 - b) 該第一塔(11)在第一壓力範圍內運行，該第二塔(12)在低於該第一壓力範圍的第二壓力範圍內運行，並且該第三塔(13)在低於該第二壓力範圍的第三壓力範圍內運行，
 - c) 該第二底層液體以高於該第一底層液體的氧含量及高於該第一底層液體的氫含量而形成，並且該第三底層液體以高於該第二底層液體的氧含量及低於該第二底層液體的氫含量而形成，
 - d) 將來自該第一塔(11)的流體至少送入該第二塔(12)，將來自該第二塔(12)的流體至少送入該第三塔(13)，將來自該第三塔(13)的流體送入該第四塔(14)，並且將來自該第四塔(14)的流體至少送入該第三塔(13)，並且
 - e) 從該第三塔(13)被送入該第四塔(14)的該流體包括以低於該第三底層液體的氧含量及高於該第三底層液體的氫含量從該第三塔(13)提取的側流的至少一部分，
其特徵在於，
 - f) 藉由冷凝該第一塔(11)的頂部氣體以形成回流液體，並且將該回流液
- 第1頁，共 5 頁(發明申請專利範圍)

體液態回輸到該第一塔(11)上，

- g) 為了冷凝該第一塔(11)的該頂部氣體，使液態冷卻流在間接熱交換中逆著該頂部氣體蒸發或部分蒸發，並且
- h) 該冷卻流蒸發或部分蒸發時所形成的氣體膨脹做功而減壓至該第二壓力範圍的壓力並被送入該第二塔(12)中。

【請求項2】 如請求項1所述之方法，其中，在使用該第一底層液體的至少一部分的情況下形成該冷卻流。

【請求項3】 如請求項2所述之方法，其中，為了冷凝該第一塔(11)的該頂部氣體，其他的液態冷卻流在間接熱交換中逆著該頂部氣體蒸發或部分蒸發，其中該其他冷卻流在底層上方從該第一塔(11)被提取，並且在該蒸發或部分蒸發之後至少部分地被壓縮並被回輸到該第一塔(11)中。

【請求項4】 如請求項1至3中任一項所述之方法，其中，使用強制流式冷凝蒸發器來冷凝該第一塔(11)的該頂部氣體並蒸發該冷卻流。

【請求項5】 如前述請求項中任一項所述之方法，其中，該冷卻流蒸發或部分蒸發時所形成的該氣體做功膨脹並被送入該第二塔(12)，在該膨脹前加熱該氣體。

【請求項6】 如請求項1至3中任一項所述之方法，其中，該冷卻流蒸發或部分蒸發時所形成的該氣體做功膨脹並被送入該第二塔(12)，在該蒸發或部分蒸發後該氣體所處的溫度上對該氣體進行該膨脹處理。

【請求項7】 如請求項1至3中任一項所述之方法，其中，該冷卻流蒸發或部分蒸發時所形成的該氣體做功膨脹並被送入該第二塔(12)，在從用於膨脹的膨脹機(5)中提取該氣體時所處的溫度上將該氣體送入該第二塔(12)。

【請求項8】 如前述請求項中任一項所述之方法，其中，該第四塔(14)的頂部氣體的至少一部分在冷凝蒸發器(141)的冷凝室中冷凝，從該冷凝蒸發器的蒸發室提取氣體混合物，其中從該冷凝蒸發器(141)的該冷凝室提取的該氣體混合物的至少一部分被用來形成回輸流，該回輸流被加熱、壓縮、冷卻並且被送入該第二塔(12)且/或用作用於吸附器(3)的再生氣體，在該吸附器中對被提供給該塔系統(10)的輸入空氣進行處理。

【請求項9】 如請求項1至7中任一項所述之方法，其中，從該第三塔(13)之上部區域提取的氣體混合物的至少一部分被用來形成回輸流，該回輸流被加熱、壓縮、冷卻並且被送入該第二塔(12)。

【請求項10】 如請求項8或9所述之方法，其中，用於處理被提供給該塔系統(10)之該輸入空氣的該吸附器(3)在不使用再生氣體的情況下運行，該再生氣體提取自該第三塔(12)並且以不變的物質組成被提供給該吸附器(3)。

【請求項11】 如請求項8所述之方法，其中，從該冷凝蒸發器(141)之該蒸發室提取的該氣體混合物的至少一部分用作第一再生氣體部分，且其中，從該第三塔(13)提取的該氣體的至少一部分用作第二再生氣體部分，其中該第二再生氣體部分在低於該第一再生氣體部分的壓力上被提供，被壓縮並且在被提供給該吸附器(3)之前與第一再生氣體部分合併。

【請求項12】 如前述請求項中任一項所述之方法，其中，該蒸發或部分蒸發的冷卻流或至少該冷卻流的做功膨脹並被送入該第二塔(12)的部分在該做功膨脹過程中釋放功率，使用該功率來運行發電機。

【請求項13】 如前述請求項中任一項所述之方法，其中，該第二壓力範圍為4 bar至6.5 bar。

【請求項14】 如前述請求項中任一項所述之方法，其中，以低於該第三底層液體的氧含量及高於該第三底層液體的氫含量而形成且從該第三塔(13)被提取的該側流在接收氧耗盡氣體混合物及底層液體的情況下在其他塔(16)中接受處理，其中來自該其他塔(16)的該氧耗盡氣體混合物的至少一部分被送入該第四塔(14)。

【請求項15】 一種空氣分離設備(100至500)，具有包含第一塔(11)、第二塔(12)、第三塔(13)及第四塔(14)的塔系統(10)並且被建構為用於：

- a) 在該第一塔(11)中形成第一底層液體，在該第二塔(12)中形成第二底層液體，在該第三塔(13)中形成第三底層液體，並且在該第四塔(14)中形成第四底層液體，
- b) 在第一壓力範圍內運行該第一塔(11)，在低於該第一壓力範圍的第二壓力範圍內運行該第二塔(12)，並且在低於該第二壓力範圍的第三壓力範圍內運行該第三塔(13)，
- c) 以高於該第一底層液體的氧含量及高於該第一底層液體的氫含量形成該第二底層液體，並且以高於該第二底層液體的氧含量及低於該第二底層液體的氫含量形成該第三底層液體，
- d) 將來自該第一塔(11)的流體至少送入該第二塔(12)，將來自該第二塔(12)的流體至少送入該第三塔(13)，將來自該第三塔(13)的流體至少送入該第四塔(14)，並且將來自該第四塔(14)的流體至少送入該第三塔(13)，並且
- e) 將以低於該第三底層液體的氧含量及高於該第三底層液體的氫含量從該第三塔(13)提取的側流的至少一部分用作從該第三塔(13)被送入該第

四塔(14)的該流體，

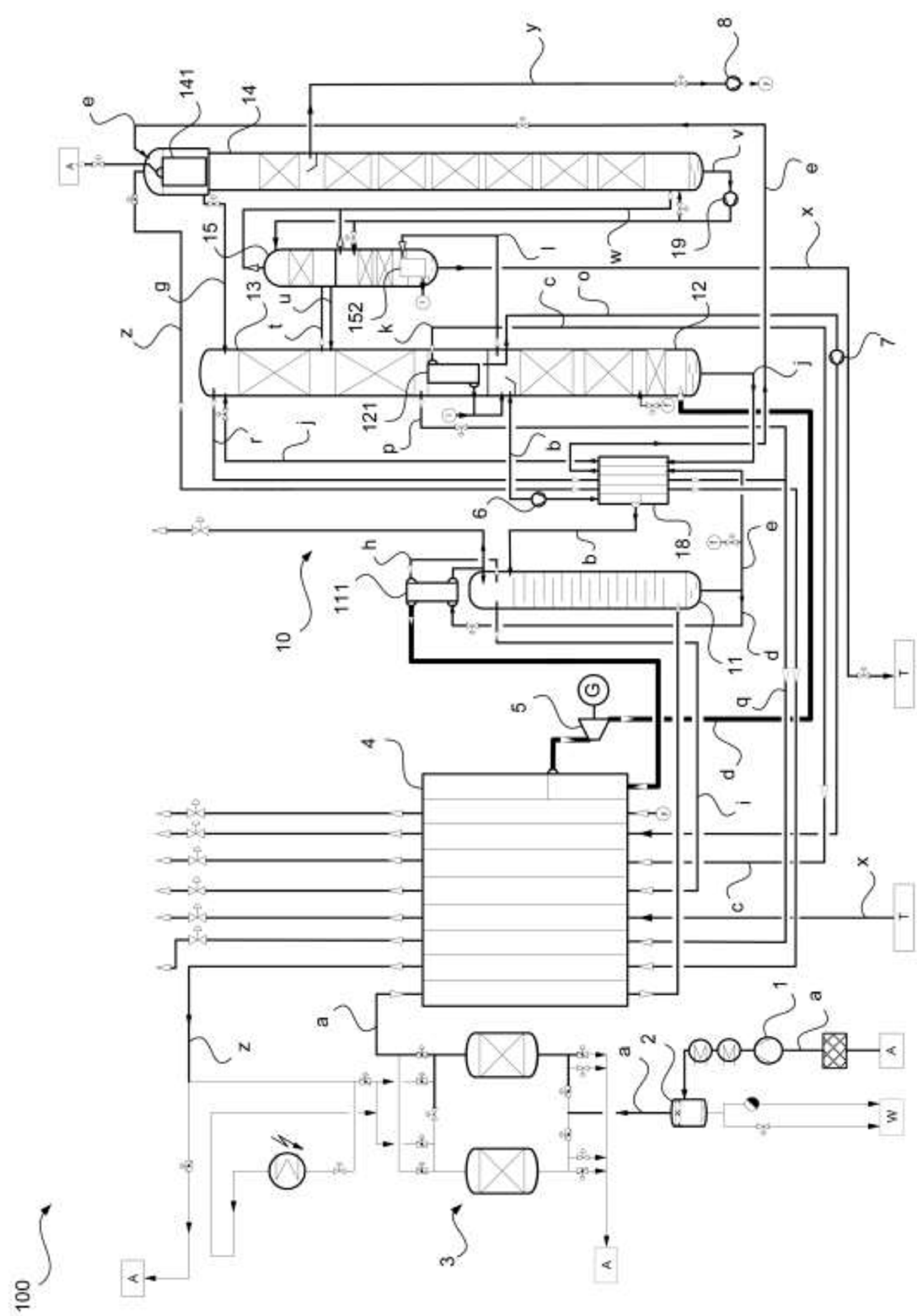
其特徵在於構件，該等構件被建構為用於：

f) 藉由冷凝該第一塔(11)的頂部氣體以形成回流液體，並且將該回流液體液態回輸到該第一塔(11)上，

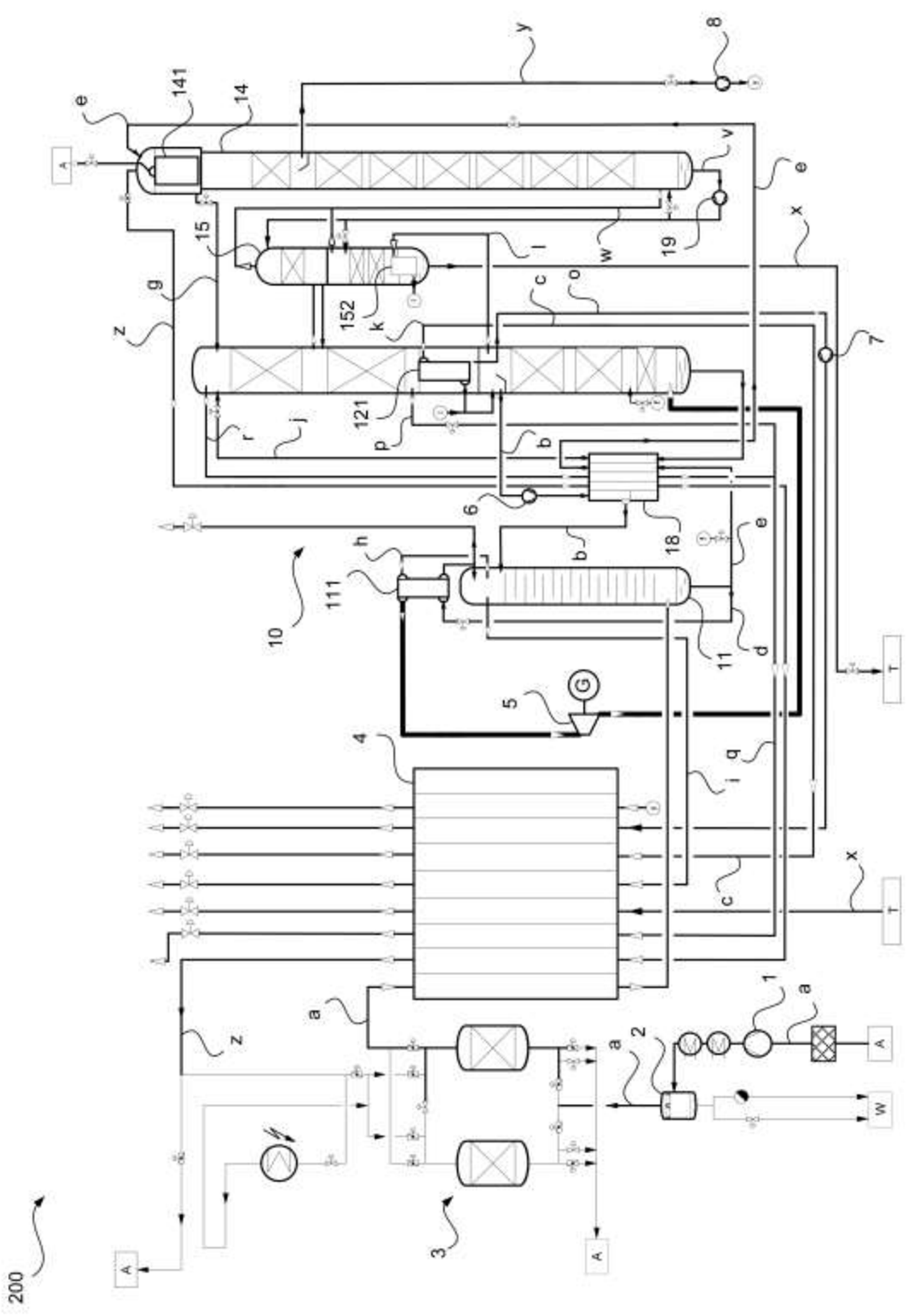
g) 為了冷凝該第一塔(11)的該頂部氣體，使液態冷卻流在間接熱交換中逆著該頂部氣體蒸發或部分蒸發，並且

使該冷卻流蒸發或部分蒸發時所形成的氣體膨脹做功而減壓至該第二壓力範圍的壓力並將該氣體送入該第二塔(12)中。

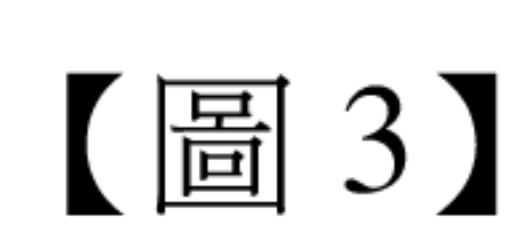
【發明圖式】

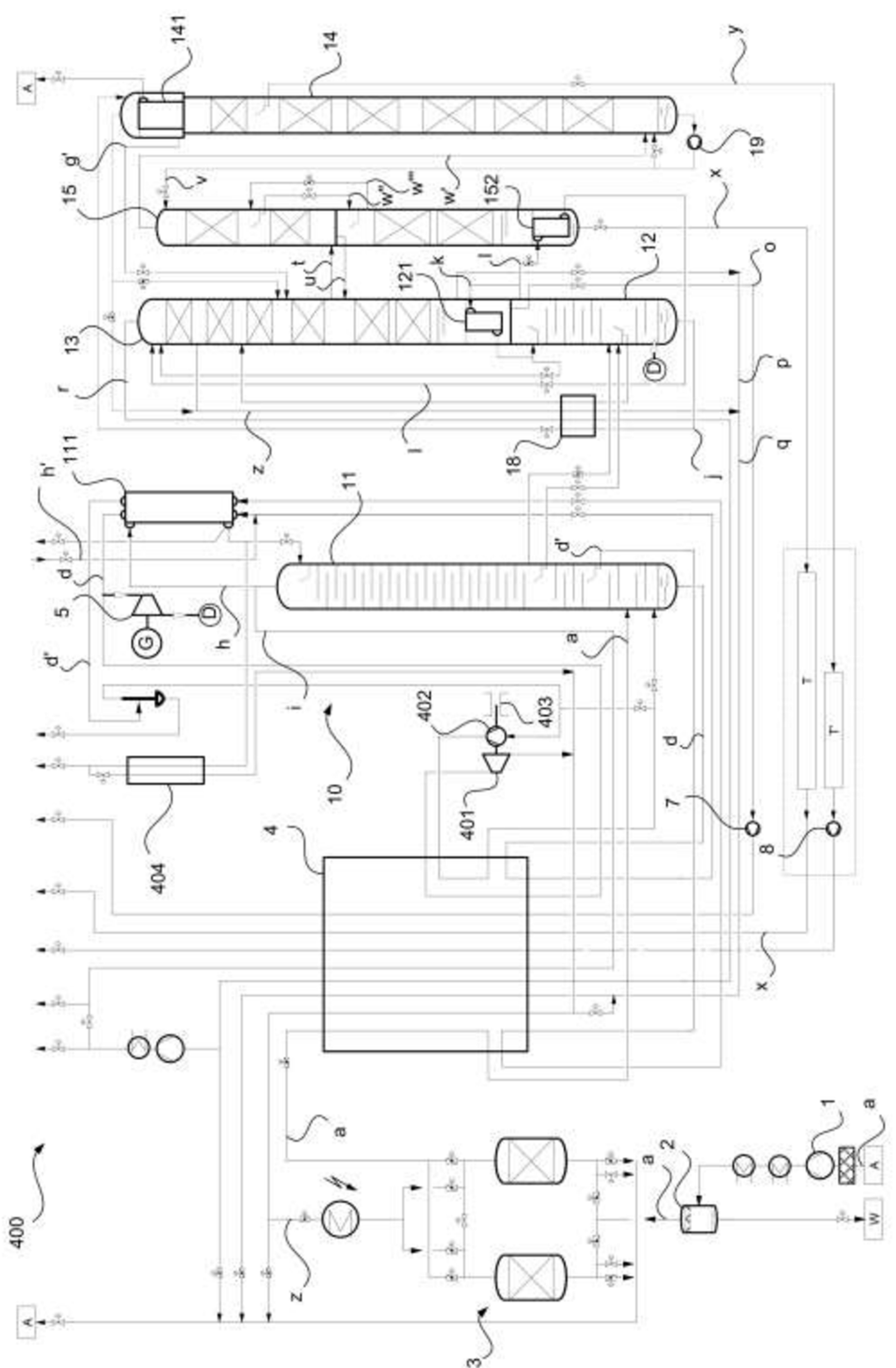


【圖1】

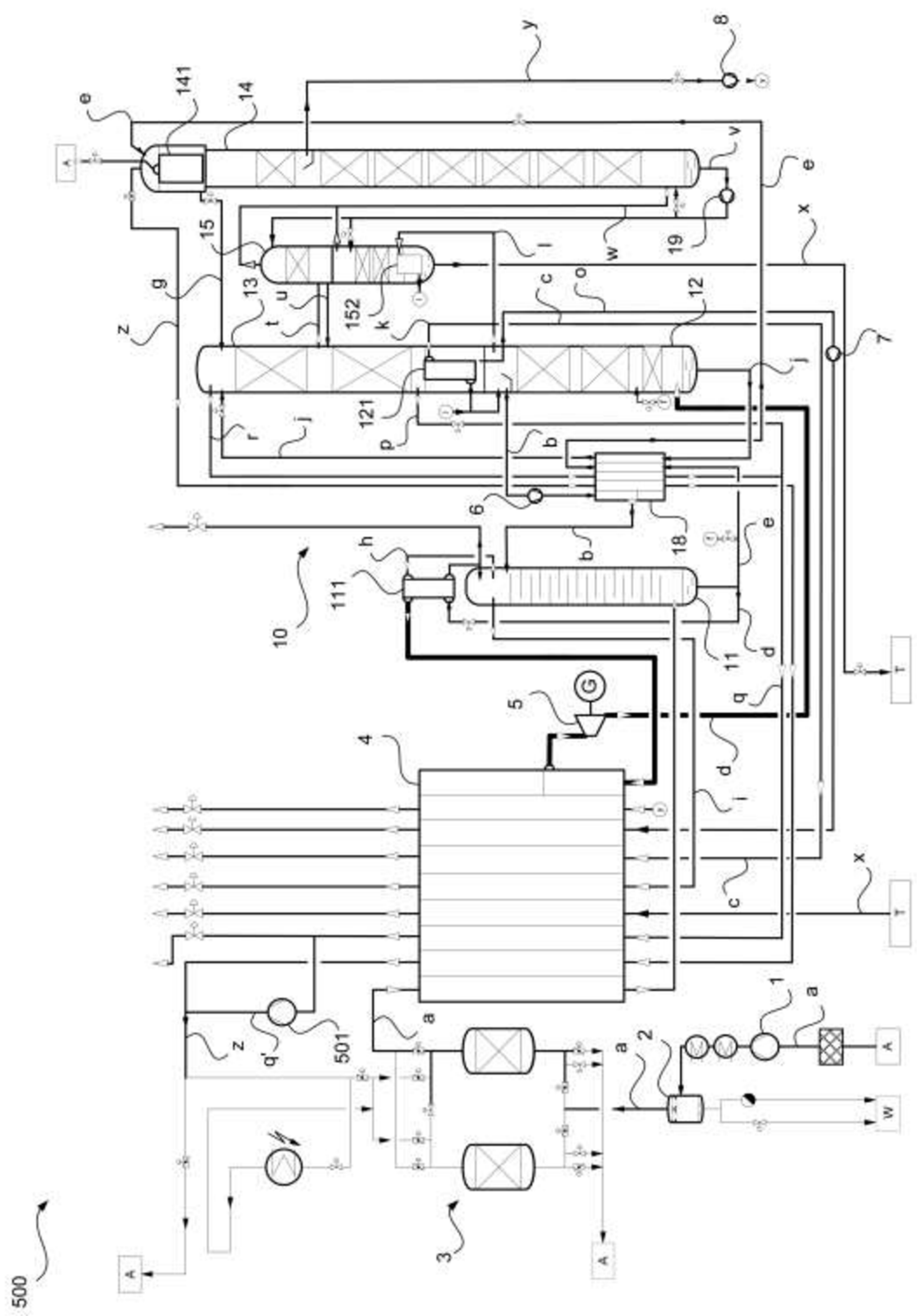


【圖 2】





【圖 4】



【圖 5】

【發明說明書】

【中文發明名稱】 空氣的低溫分離方法與設備

【技術領域】

【0001】 本發明係有關於如獨立請求項之前言所述的空氣的低溫分離方法與設備。

【先前技術】

【0002】 在空氣分離設備中藉由低溫分離空氣來製造液態或氣態空氣產品屬於習知技術，並記載於例如H.-W. Häring (Hrsg.), Industrial Gases Processing, Wiley-VCH, 2006, 特別是在第2.2.5節「Cryogenic Rectification」中。

【0003】 空氣分離設備具有精餾塔系統，傳統上，精餾塔系統可例如形成為雙塔系統，特別是經典的Linde雙塔系統，但亦可形成為三塔或多塔系統。除了用於獲取液態及/或氣態的氮及/或氧的精餾塔（即氮氧分離精餾塔）外，還可設置用於獲取其他空氣組分（尤指氦、氙及/或氬等稀有氣體）的精餾塔。其中，術語「精餾」與「蒸餾」以及「塔」與「柱」或者與此相關的複合術語往往作為同義詞使用。

【0004】 上述精餾塔系統的精餾塔係在不同的壓力水平上運行。習知的雙塔系統具有所謂的高壓塔（亦稱壓力塔、中壓塔或下塔）及所謂的低壓塔（亦稱上塔）。高壓塔通常在4 bar至7 bar，特別是約5.3 bar的壓力水平上運行。低壓塔一般在1 bar至2 bar，特別是約1.4 bar的壓力水平上運行。在特定情

況下，亦可在兩種精餾塔中使用更高的壓力水平。此處及下文所給出的壓力係為塔頂處的絕對壓力。

【0005】 特別是對半導體工廠（所謂的晶圓製造廠）的供應，除了盡可能無粒子的氣態高純氮及視情況而需要的氧之外，對較少量的氣態氬的供應需求亦逐步增長。為此，可將液氬送貨上門或/且就地蒸發液氬，或者可就地獲取氣態氬。液氬的送貨上門不僅帶來經濟上的劣勢（運輸成本、換罐損耗、蒸發時相對於環境空氣的冷損失），亦對物流鏈的可靠性有較高要求。因此，上述應用領域對除了較大量的氣態高純氮之外亦能提供較小量之氣態氬的空氣低溫分離設備的需求逐步增長。生產出來的氮通常應僅含有約1 ppb，最多1000 ppb的氧，基本無粒子，且可在顯著的超大氣壓力水平上被提供。以ppb或ppm為單位給出的數值在此係與莫耳含量有關。

【0006】 通常使用具有雙塔系統以及所謂的粗氬塔及所謂的精氬塔的空氣分離設備來獲取氬。一個例子圖示於Häring案（見上）的圖2.3A中，並且自第26頁起記載於段落「Rectification in the Low-pressure, Crude and Pure Argon Column」中以及自第29頁起記載於段落「Cryogenic Production of Pure Argon」中。若相關精餾塔採用相應設計，則原則上亦可在相應設備中棄用精氬塔。在此情況下，可從粗氬塔或一般情況下略低於傳統上被轉移至精氬塔的流體的類似塔中提取純氬。

【0007】 即使所需氬量較小，以傳統技術生產氣態氬時，仍須以如前所述之雙塔及氬精餾裝置組裝完整（即配設有經典的提氧低壓塔）的空氣分離設備。此類設備無法在保證高產量的同時以合理產率在顯著的超大氣壓力水平上生產氮。在此，氮絕大部分作為低壓產品而產生且必須經壓縮處理。剩餘部分

可在壓力柱壓力下獲取，但在大多數情況下同樣須經再壓縮處理。在僅使用高壓塔來生產氮的替代設備配置中，雖能取消對來自低壓塔之氮的壓縮處理，但不能棄用增壓壓縮機。再者，此類設備配置的氮產率一般較差，且相應設備亦不適合氮的生產。

【發明內容】

【0008】 因此，本發明之目的在於提供一種方法及一種空氣分離設備，藉由該方法或該空氣分離設備，除了可在顯著的超大氣壓力水平上提供較大量的高純氣態氮之外，亦能以有利的方式提供氮。

【0009】 在此背景下，本發明提出一種具有獨立請求項之特徵的用於低溫分離空氣的方法與設備。較佳技術方案分別為從屬請求項及以下說明的主題。

【0010】 在闡述本發明的特徵與優點之前，先對本發明的一些基本原理進行詳細闡釋並對下文所使用的術語進行定義。

【0011】 空氣分離設備中所使用的裝置記載於被引用的專業文獻中，例如在Häring案（見上）中記載於第2.2.5.6節「Apparatus」中。考慮到本申請框架內的用語習慣，凡若以下定義並無不同者，則明確地提請參考被引用的專業文獻。

【0012】 在本案的用語習慣中，液體及氣體可能富或貧一種或數種組分，其中「富」可代表至少為75%、90%、95%、99%、99.5%、99.9%或99.99%的莫耳含量、重量含量或體積含量，「貧」可代表最高為25%、10%、5%、1%、0.1%或0.01%的莫耳含量、重量含量或體積含量。術語「佔優勢」可

等同於「富」的定義。此外，液體及氣體可能富集或耗盡一種或數種組分，其中此等術語係關於用以獲取該液體或氣體的初始液體或初始氣體中的含量。以初始液體或初始氣體為參照，若液體或氣體至少含有相應組分的1.1倍、1.5倍、2倍、5倍、10倍、100倍或1000倍含量，則稱之為「富集」，若液體或氣體最多含有相應組分的0.9倍、0.5倍、0.1倍、0.01倍或0.001倍含量，則稱之為「耗盡」。舉例而言，若述及「氧」、「氮」或「氫」，則亦指富氧、富氮或富氫但並非必須僅由氧、氮或氫構成的液體或氣體。

【0013】 本申請使用術語「壓力範圍」及「溫度範圍」來表徵壓力與溫度，此係為了表明，實現本發明理念時無需使用精確的壓力值及溫度值來說明相應設備中的相應壓力與溫度。但此等壓力與溫度通常在平均值上下1%、5%、10%或20%之特定範圍內波動。相應的壓力範圍及溫度範圍可處於不相交範圍或交疊範圍。例如壓力範圍尤其包含不可避免或可預見的壓力損失。溫度範圍亦如此。以bar為單位給出的壓力範圍係為絕對壓力。

【0014】 若述及「膨脹機」，則一般係指習知的渦輪膨脹機。此等膨脹機特別是亦可與壓縮機耦接。此等壓縮機可尤其為渦輪壓縮機。由渦輪膨脹機與渦輪壓縮機組成的相應組合通常亦被稱為「渦輪增壓器」。在渦輪增壓器中，渦輪膨脹機與渦輪壓縮機機械耦接，其中該耦接可以轉速相同（例如透過公共軸體）或轉速不同（例如透過自有傳動裝置）之方式實現。本案為一般性地使用術語「壓縮機」。「冷壓縮機」在此係指被提供遠低於0°C，特別是低於-50°C、-75°C或-100°C及至低於-150°C或-200°C之溫度範圍之流體流的壓縮機。相應的流體流特別是由主熱交換器（見下）冷卻至此溫度範圍內的溫度。

【0015】 「主空氣壓縮機」係用於壓縮被提供給空氣分離設備且在該處被分離的全部空氣。而在一個或數個可酌情設置的其他壓縮機如增壓壓縮機中，則是僅對此前已在主空氣壓縮機中被壓縮過的空氣的一部分進行進一步壓縮。相應地，空氣分離設備的「主熱交換器」係為至少用於冷卻被提供給空氣分離設備且在該處被分離之空氣的佔優勢部分的熱交換器。此係至少部分地在從空氣分離設備中導出的物料流的逆流中進行。在本案的用語習慣中，此等「被導出的」物料流或「產品」係為不再參與設備內部循環、而是從設備內部循環被持續抽取的流體。

【0016】 本發明框架內所使用的「熱交換器」可採用常規設計。熱交換器用於在至少兩個例如互為逆流而行的流體流之間間接傳熱，例如在一個熱加壓空氣流與一個或數個冷流體流之間，或者在一個酷冷液態空氣產品與一個或數個熱或較熱（視情況亦可能尚酷冷的）流體流之間。熱交換器可由單一的熱交換器段或數個並聯及/或串聯熱交換器段（例如一個或數個板式熱交換器塊）構成。例如為板式熱交換器（英文為Plate Fin Heat Exchanger）。此類熱交換器具有「通道」，該等通道形成為包含換熱面的分離式流體通路，並且平行地且被其他通道隔開地聯合成「通道組」。熱交換器之特徵在於，在熱交換器中於某個時間點上在兩種流動媒介（即，至少一個待冷卻流體流與至少一個待加熱流體流）之間進行熱交換。

【0017】 「冷凝蒸發器」係指可供第一冷凝流體流與第二蒸發流體流發生間接熱交換的熱交換器。任一冷凝蒸發器皆具有液化室及蒸發室。液化室及蒸發室具有液化通道或蒸發通道。第一流體流在液化室內冷凝（液化），第二

流體流在蒸發室內蒸發。蒸發室及液化室由相互之間存在熱交換關係的通道組成。

【0018】 在「強制流式」冷凝蒸發器中，液體流或兩相流受自身壓力作用而穿過蒸發室並在該處部分或完全蒸發。此壓力可例如由通往蒸發室的供給管路中的液柱產生。其中，此液柱的高度對應於蒸發室中的壓力損失。從蒸發室排出的氣液混合物在此類型之「一次通過式」冷凝蒸發器中按相分離後被直接送往下一個處理步驟或下游裝置，且特別是不被導入冷凝蒸發器的液浴中，否則液態剩餘部分會被該液浴重新吸入。

【0019】 「上」、「下」、「之上」、「之下」、「上方」、「下方」、「旁」、「並排」、「豎向」、「水平」等相對空間術語在此係關於空氣分離設備的精餾塔或其他組件正常運行時的空間定向。兩個組件「堆疊」佈置，在此係指兩個組件中的下方組件的上端與兩個組件中的上方組件的下端處於同一大地高度或較低的大地高度，並且兩個裝置部件在水平面中的投影彼此重疊。特別地，兩個組件精確地堆疊佈置，此係指兩個組件的軸線在同一條豎向直線上延伸。然而，兩個組件的軸線不必精確垂直地堆疊，而是亦可相對偏移，特別是在如下情況下：要求兩個組件中直徑較小的組件（例如精餾塔或塔部件）與冷箱板套之間的距離與直徑較大的另一組件與冷箱板套之間的距離一樣大。

本發明的優點

【0020】 在此背景下，本發明提出一種低溫分離空氣的方法，其中使用具有塔系統的空氣分離設備，該塔系統具有第一塔、第二塔、第三塔及第四塔。

【0021】 在本發明的空氣分離設備中，第一塔至第三塔特別是在習知的經典雙塔系統之基礎上擴增一個附加塔而形成，該附加塔係以高於傳統上所存在的高壓塔的壓力運行。

【0022】 在本發明框架內，特別是可在構造上與第二塔及第三塔分開地提供第一塔，下文還將參考所附圖式對此進行詳細闡述，其中第二塔及第三塔特別是可為雙塔的組成部分，且可藉由相應的冷凝蒸發器（所謂的主冷凝器）彼此處於熱交換連接。但亦可採用不同於此之佈置方式；本發明不限於上述說明。

【0023】 特別地，形成為雙塔組成部分的第二塔及第三塔在相應的多塔系統中亦可補充附加塔，或者第二塔及第三塔可作為單獨的塔被提供。由先前技術基本已知，前述的主冷凝器可作為內部或外部主冷凝器被提供。若使用內部主冷凝器，則其至少部分地浸入在第三塔底層中的底層液體中，並且來自第二塔的待冷凝頂部氣體經導引而穿過主冷凝器的冷凝室。

【0024】 同樣地，由空氣分離領域普遍已知，在第一塔中形成第一底層液體，在第二塔中形成第二底層液體，在第三塔中形成第三底層液體，並且在第四塔中形成第四底層液體。不同於第一塔至第三塔，第四塔在本發明框架內特別是用於獲取氫或者說用於從提取自第三塔的氣體混合物中分離氫。特別地，第四塔可為包含粗氫塔及精氫塔之習知配置中的傳統粗氫塔，但亦可為經

修改的氫塔，在不使用附加精氫塔之情況下於頂部下方從該氫塔提取純氫。在本發明框架內亦可採用其他變體。

【0025】 在本發明框架內，第一塔在第一壓力範圍內運行，第二塔在低於第一壓力範圍的第二壓力範圍內運行，第三塔在低於第二壓力範圍（且因而亦低於第一壓力範圍）的第三壓力範圍內運行。特別地，第四塔可在第三壓力範圍內運行或者在略低於第三壓力範圍的壓力範圍內運行，該壓力範圍特別是由連接第三塔與第四塔之管路的壓力損失形成。

【0026】 在本發明框架內，第二底層液體以高於第一底層液體的氧含量及高於第一底層液體的氫含量而形成，第三底層液體以高於第二底層液體的氧含量及低於第二底層液體的氫含量而形成。其中，第二底層液體的氫含量高於第一底層液體的氫含量，其成因係在於不同的運行條件，特別是運行第一塔及第二塔所使用的不同壓力，以及在於被送入第一塔及第二塔的物料流的不同組成。而第三塔中氫含量較低的原因則特別在於，從此第三塔提取富集氫的氣體，下文還將對此進行說明。

【0027】 在本發明框架內，具體而言，第一氧含量可為28%至40%，特別是約為34%，第二氧含量可為約45%至65%，特別是約為55%，且第三氧含量可為約99.0%至99.9%，特別是約為99.5%。其中，各百分比分別與相應的組分混合物中的氧的莫耳含量有關。因此，第三塔在本發明框架內係用作精氧塔，從該精氧塔可抽取相應的純氧產品。反之，第一及第二底層液體通常不作為產品，而是在設備中接受進一步處理。

【0028】 在本發明框架內，一般性地將流體從第一塔至少送入第二塔。從第一塔被送入第二塔的流體特別是可包括第一塔的底層液體，該底層液體蒸

發、膨脹並被送入第二塔。特別是可將流體從第一塔送入第二塔及第三塔。將來自第二塔的流體至少送入第三塔，將來自第三塔的流體至少送入第四塔，並且將來自第四塔的流體至少送入第三塔。

【0029】 特別地，當述及將來自一個塔的「流體」「至少」送入另一個塔時，其係指相應流體流的直接或間接轉移。特別地，相應流體的轉移亦可包括先將其送入冷凝蒸發器或其蒸發室中，而後液態部分及/或氣態部分從冷凝蒸發器或其蒸發室被轉移到另一個塔中。如此一來，此流體導引亦是將流體從一個塔轉移到另一個塔。當相應流體僅部分地被轉移時，例如當流體富集或耗盡某些組分且/或被分成若干分流時，亦是如此。

【0030】 被轉移流體可包括相應塔的頂部氣體、底層液體及/或側流。其中，「側流」係指在不同的分隔塔板或分隔區段之間提取自相應塔的材料流，頂部氣體則是指在最上面的分隔塔板或分隔區域以上從塔中提取的氣體混合物，底層液體係指在最下面的分隔塔板或分隔區域以下提取自相應塔的液體。底層液體特別是以液態物料流之形式被導出，頂部氣體特別是以氣態物料流之形式被導出。然而，亦可例如在底層正上方、但尚在最下面的分隔區段或者說最下面的分隔塔板以下提取液態或氣態物料流。側流可液態或氣態存在。液態側流可例如從阻液裝置或止流塔板提取。

【0031】 在本發明框架內，從第三塔被送入第四塔的流體包括以低於第三底層液體的氧含量及高於第三底層液體的氬含量從第三塔提取的側流的至少一部分。其中，特別是在前述氬通道(Argonübergang)的區域中從第三塔提取側流，但亦可在氬通道下方提取側流。其中，相應側流特別是一種氬含量高於底層液體但低於頂部氣體之氣體混合物。

【0032】 本發明的一個重要態樣為：藉由冷凝第一塔的頂部氣體以形成回流液體，並且將此回流液體液態回輸到第一塔上。其中，「在使用」頂部氣體的情況下形成回流液體，特別是可包括：從第一塔氣體提取頂部氣體，在下文還將予以詳細說明的冷凝蒸發器中至少部分地液化此頂部氣體，並且將液態部分至少部分地回輸到第一塔上。

【0033】 根據本發明，為了對第一塔的頂部氣體進行上述冷凝，使液態冷卻流在間接熱交換中逆著頂部氣體蒸發或部分蒸發。根據本發明，進一步地，冷卻流蒸發或部分蒸發時所形成的氣體（有可能剩下的液體可被預先分離）膨脹做功而減壓至第二壓力範圍的壓力（即第二塔的工作壓力）並被送入第二塔中。相應膨脹的氣體可為蒸發或部分蒸發時所形成的氣體的一部分，或者亦可僅為其一部分。特別地，可在第一壓力範圍的壓力上提供液態冷卻流，並且在蒸發或部分蒸發之前例如藉由閥門將冷卻流膨脹減壓至略低於上述壓力的壓力，例如介於第一壓力範圍與第二壓力範圍之間的範圍。而後，在蒸發之後並且在送入第二塔之前，在蒸發下游以上述做功形式進一步膨脹減壓至第二壓力範圍的壓力。

【0034】 本發明提出一種能耗低於至今處於研發中之方法的方法以作為替代方案。此係特別用來與習知的所謂SPECTRA法及其變體進行對比。然而，例如聯繫圖4所述，本發明亦可與此種SPECTRA法及其變體結合使用。

【0035】 SPECTRA法例如披露於EP 2 789 958 A1及該案所引用的專利文獻。簡單地說，其係為一種單塔法。然而，藉由提供其他的塔，亦可為SPECTRA法擴增氧獲取及氫獲取功能。SPECTRA法能實現較高的氮產率。

【0036】 從亦被提供輸入空氣之主要量的、用於獲取氮的精餾塔以一個或數個物料流的形式提取相對於大氣空氣富集氧的酷冷液體，並且在冷凝蒸發器中加熱之，該冷凝蒸發器用於冷卻並冷凝同一個塔的至少一部分頂部氣體。相應冷凝的頂部氣體至少部分地被回輸到此前提取該頂部氣體的塔上。在傳統的SPECTRA法中，待蒸發流體可以僅一個物料流之形式或者以兩個或數個分開的第一物料流之形式穿過冷凝蒸發器。

【0037】 使用一個或數個壓縮機對相應蒸發的流體的一部分進行冷壓縮（意即，在遠低於0°C的溫度水平上，特別是在-50°C或更低的溫度水平上），而後將其送回此前提取該流體的塔中。該一個或數個壓縮機可與一個或數個膨脹機耦接，特別是可與兩個並聯佈置的膨脹機中的一個耦接，且可至少部分地被該或該等膨脹機驅動。蒸發流體的另一部分在該或該等膨脹機中膨脹並被導出空氣分離設備。

【0038】 本發明特別是基於以下認識：不採取本發明所提出的措施便不能充分發揮同類型方法之潛力。一個相關指標為：在此等同類型方法中，在用於冷凝以最高壓力工作的第一精餾塔的頂部氣體的冷凝器中，存在仍相當高的溫差。考慮到對氮產品壓力及第一壓力水平（例如11 bar；輸入空氣相應地被高度壓縮）的要求，以往方案係將此冷凝器設計成具有相當高的液靜壓壓力損失（約為150至200 bar）且平均溫差為2.5 K（或更多）之浴冷凝器。在相應製程中，此會導致相當多的能量「滅失」，在本發明框架內則不會出現此種情況。

【0039】 在非本發明的替代方案中有基於不同於SPECTRA法的製程拓撲而配設數個精餾塔者，其另一個（可被視為不足的）點係在於，為了產生製冷

量而將空氣（約為輸入空氣量的10%至15%）吹入在中等壓力下工作的第二精餾塔。此空氣量並不在第一（主）精餾塔中接受精餾以獲取高壓氮產品，因此，相應的解決方案在氮產率方面必然存在相應不足。

【0040】 若採取本發明所提出的措施，便不再需要相應吹入主要用於製冷的輸入空氣，因為作為替代方案，可使用在冷凝蒸發器中蒸發的冷卻流體。此冷卻流體有利地來自於第一精餾塔的底層液體，因而已參與過該處所進行的精餾。藉此提高本發明所提出的方法中的效率與產率。

【0041】 換言之，本發明建議如下：產生製程用冷(Prozesskälteleistung)時，不使用（或者至少不僅只使用）第二精餾塔的輸入空氣流，而是使用在冷凝蒸發器（頂部冷凝器）中蒸發的流，即在此被稱為「冷卻流」的物料流。其中，本發明的一個重要態樣包括但不限於利用第二精餾塔的工作壓力（即相當於第二壓力範圍）與冷凝頂部氣體所使用之冷凝器中的蒸發壓力之間的差壓來製冷以及減小第二精餾塔的空氣「吹入量」。

【0042】 上述冷凝器中的溫差愈小，則該冷凝器中的蒸發壓力愈高（且進而愈有利於製冷程序）。因此，該冷凝器有利地不實施為浴冷凝器，而是特別是實施為最小溫差盡可能小的強制流式冷凝器。

【0043】 為了取得上述優點，換言之，有利地在使用第一底層液體的至少一部分的情況下形成前述冷卻流（該冷卻流取代空氣經膨脹處理以製冷），且/或，有利地使用強制流式冷凝蒸發器來冷凝第一塔的頂部氣體並蒸發冷卻流。關於術語「強制流式冷凝蒸發器」，明確地提請參考前述說明。

【0044】 在本發明的一個尤佳技術方案（該技術方案以此方式而為SPECTRA法的一部分）中，為了冷凝第一塔的頂部氣體，進一步地，其他的液

態冷卻流在間接熱交換中逆著頂部氣體蒸發或部分蒸發，其中該其他冷卻流在底層上方從第一塔被提取，並且在蒸發或部分蒸發之後至少部分地被壓縮並被回輸到第一塔中。在該其他冷卻流或其一部分蒸發後對其所實施的壓縮特別是在一個或數個壓縮機中進行，該或該等壓縮機與一個或數個膨脹機機械耦接，並且特別是進一步地被制動。該壓縮特別是在低於 0°C 、尤其低於 -50°C 的溫度水平上進行，例如在 -100°C 至 -150°C 下進行。該一個壓縮機或該等數個壓縮機特別是對由第一塔之底層液體所形成的冷卻流的剩餘殘餘物進行壓縮，該冷卻流未經壓縮而被回輸到第二塔中。被壓縮的此殘餘物特別是被壓縮至第一壓力範圍的壓力並且被回輸到第一塔中。

【0045】 在本發明框架內，前述第一壓力範圍特別是為9 bar至12 bar，第二壓力範圍特別是為4 bar至6.5 bar，且第三壓力範圍特別是為1 bar至2 bar。然而，例如相對於前文聯繫傳統空氣分離設備所提及的1.4 bar之壓力值，亦可進一步降低第三壓力範圍，特別是降低50 mbar至200 mbar。相應地，例如相對於前文所提及的5.3 bar的值，亦可將第二壓力範圍降低120 mbar至500 mbar。特別地，倘若如下所述將來自用於冷凝第四塔之頂部氣體的冷凝蒸發器的蒸發室的氣體用作再生氣體，則相應的壓力降低是可能的。其中，此冷凝蒸發器中起驅動作用的溫差亦減小。

【0046】 在將壓力降低至上述值以及在進一步降低壓力時，可藉由增大第一壓力範圍與第二壓力範圍之間的壓力差或者藉由降低膨脹時的出口壓力來相應提高製冷量。如前所述，所給出的壓力在此係分別為塔頂處的絕對壓力。因此，第一壓力範圍高於傳統上用於空氣分離設備之高壓塔的壓力。在本發明

框架內，第二塔特別是可在低於傳統空氣分離設備中所使用的高壓塔的壓力範圍上運行。但原則上亦可為相同壓力。

【0047】 藉由使用本發明，若冷凝第一塔的頂部氣體以及蒸發冷卻流所使用的冷卻流係在使用第一塔的第一底層液體的情況下形成，則鑒於所存在的壓力條件便不需要用泵來輸送液氮。藉此減小低溫系統中的熱輸入，並且與原則上同樣可使用更富氧的流體不同，由於蒸發液體中的氧含量更低而存在更高的驅動性溫差。藉此實現更高的蒸發壓力並相應提高渦輪功率。

【0048】 特別地，藉由本發明的措施而取得的渦輪功率（製程用冷）對於液體產量相對較低的「氣體」設備是足夠的，例如在要求氮產品壓力為11 bar（該要求氮產品壓力亦相當於第一壓力範圍的壓力）之情況下。在此種配置中不需要其他渦輪。此外，在此配置中不需要將空氣吹入第二塔，或者說不需要設置第一塔的旁路。然而，附加渦輪可用於液體產量較高的工況。

【0049】 在本發明所提出的方法中，從第一精餾塔中特別是提取富氮氣體作為產品，加熱之並在第一壓力範圍的壓力上將其輸出設備。以此方式，無需進一步壓縮便可提供相應壓力範圍的氮產品。

【0050】 在本發明框架內，與前述的用以取代蒸發冷卻流的輸入空氣膨脹相比，以主空氣壓縮機的功率為參照，藉由提高氮產品產率以及提高渦輪功率的回收率，總體上可取得5%至6%的能耗優勢。舉例而言，此相當於減少了大約500 kW的能耗，且進而相當於降低了超過一百萬歐元的TCO（Total Cost of Ownership，總體擁有成本）成本。藉由本發明所提出的措施，總體上可減少所需空氣使用量，從而減小「熱」設備部分。如此一來，亦可使用更小的熱

交換器（在MTD值相同的情況下，kF值大約減小6%）。若使用強制流式冷凝蒸發器，則由於蒸發壓力相當高（通常超過7 bar）而不會發生可燃烴的富集。

【0051】 本發明可設置用於為冷卻流調溫或不調溫的不同可能性，該等可能性可分別提供一定的能耗優勢。冷卻流蒸發或部分蒸發時所形成的氣體做功膨脹並被送入第二塔，可在膨脹前加熱該氣體。為此可特別使用空氣分離設備的主熱交換器。以此方式可藉由相應的冷對輸入流進行冷卻並相應調整熱交換器剖面(Wärmetauscherprofil)。冷卻流蒸發或部分蒸發時所形成的氣體做功膨脹並被送入第二塔，亦可在該蒸發或部分蒸發後該氣體所處的溫度上對該氣體進行該膨脹處理；亦即，在此技術方案中不進行進一步的調溫。

【0052】 在本發明的一個在給定條件下同樣能提供能耗優勢的實施方式中，冷卻流蒸發或部分蒸發時所形成的氣體做功膨脹並被送入第二塔，可在從用於膨脹的膨脹機中提取該氣體時所處的溫度上將該氣體送入第二塔。作為替代方案，亦可在膨脹之後進行加熱。

【0053】 在本發明的一個尤佳技術方案的框架內，第四塔的頂部氣體的至少一部分在冷凝蒸發器的冷凝室中冷凝，從該冷凝蒸發器的蒸發室提取氣體混合物。

【0054】 在本發明的一個技術方案中，此氣體混合物的一部分及/或來自第三塔之上部區域的殘餘氣體的至少一部分（即，從第三塔提取的氣體混合物的至少一部分）可用於形成回輸流且同時被加熱、壓縮、冷卻並且被送入第二塔。在本發明框架內，特別是可使用空氣分離設備的主熱交換器來加熱及冷卻上述回輸流。

【0055】 特別地，來自冷凝蒸發器之蒸發室的氣體混合物的（另）一部分可用作用於吸附器的再生氣體，在該吸附器中對被提供給塔系統的輸入空氣進行處理。特別地，此係可在相應的蒸發壓力下進行。特別地，上述吸附器在不使用再生氣體的情況下運行，該再生氣體提取自第三塔並且以與在第三塔中時相同的組成被提供給吸附器。舉例而言，來自第三塔的上部區域的氣體以及來自此塔的下部區域的氣體可合併並且作為聯合流在主熱交換器中被加熱並用作再生氣體。

【0056】 在本發明的一個尤佳技術方案中，從冷凝蒸發器之蒸發室提取的氣體混合物的至少一部分用作第一再生氣體部分，並且，從第三塔提取的氣體或上述氣體混合物的至少一部分用作第二再生氣體部分。在此情況下，特別是第二再生氣體部分在低於第一再生氣體部分的壓力上被提供，被壓縮並且在被提供給吸附器之前與第一再生氣體部分合併。亦即，將來自第三塔的殘餘氣體與來自氫塔的頂部冷凝器的氣體合併。

【0057】 上述技術方案特別是在以下情況下是有利的：預冷卻時未使用製冷機，因而對再生氣體的需求比較高。在此情況下，來自冷凝蒸發器的氣體量不夠用作再生氣體量。因此，對來自低壓塔（即第三塔）的殘餘氣體的分流進行再壓縮（壓力差約為50 mbar至200 mbar）並將其與另一個流合併。若對氣態氮產品中的氫含量的要求比較高，則亦能取得優點。在此情況下無法選擇任意低的分子篩（即吸附器）進氣溫度，否則（吸附器中為此而設置的專用觸媒層上的）氫移除會不夠充分。在此情況下，來自冷凝蒸發器的氣體量亦可能不夠用作再生氣體量。

【0058】 在本發明的一個尤佳技術方案中，向冷凝蒸發器（第四塔的頂部氣體至少部分地在該冷凝蒸發器的冷凝室中冷凝）的蒸發室提供第一底層液體的一個部分，並且使該部分部分蒸發，其中在此部分蒸發過程中形成前述氣體混合物。換言之，在此技術方案中係使用第一塔的底層液體來冷卻粗氫塔或者說所存在的唯一一個氫塔的頂部冷凝器。若存在作為第五塔的精氫塔，則亦可使用相應的底層液體來冷卻該精氫塔的頂部冷凝器，參見下文。

【0059】 一般而言，接下來亦可將來自第一塔的底層液體的已蒸發及未蒸發部分（該等已蒸發及未蒸發部分已在第四塔或者第四塔及第五塔的該或該等冷凝蒸發器中被使用過）至少部分地轉移到第三塔中（視情況扣除在吸附器中被使用的部分），且是在對應於此等流體之氧含量及氫含量的位置上。因此，基本上可在相同部位處將已蒸發及未蒸發部分送入第三塔。上述物料流可合併地或彼此分開地轉移到第三塔中。如此一來，從第一塔轉移到第三塔中的流體包括相應的液體，即用於冷卻第四塔或第四塔及第五塔之該或該等頂部冷凝器的第一底層液體的至少一部分。視情況亦可放棄對來自該或該等頂部冷凝器的已蒸發部分的饋送，並且在不將其送入第三塔的情況下，將此等已蒸發部分作為該方法之輸出物，如同前述回輸流以及吸附器中所使用的部分。但在此情況下，第一底層液體的一部分亦與未蒸發液體一起被送入第三塔。

【0060】 根據本發明的一個技術方案，從第二塔被送入第三塔的流體可包括第二底層液體的至少一部分，該至少一部分在不使用泵的情況下從第二塔轉移到第三塔中。根據此技術方案，相應的底層液體可以僅基於第二塔與第三塔之間的壓力差而轉移到第三塔中。然而，該至少一部分亦可事先或者在轉移時逆著其他流被過冷式逆流熱交換器過度冷卻。

【0061】 可在明確的提取位置上從第一塔提取頂部氣體，並且在相應的壓力範圍內將頂部氣體作為氮加壓產品導出空氣分離設備。

【0062】 如前所述，本發明可與精氫塔（即第五塔）結合使用，流體從第四塔轉移到該第五塔中，其中從第四塔轉移的流體的氫含量高於提取自第三塔且至少一部分被轉移至第四塔的氣體混合物中的氫含量。亦即，如同由空氣分離技術領域基本已知的，第五塔在本發明框架內係用於獲取相應的氫產品。

【0063】 其中，有利地藉由其他冷凝蒸發器來冷凝第五塔的頂部氣體，第二底層液體的另一部分在該其他冷凝蒸發器中部分蒸發。明確地提請參閱前述說明。

【0064】 特別地，在本發明框架內以低於第三底層液體的氧含量及高於第三底層液體的氫含量而形成且從第三塔被提取的側流在接收氧耗盡氣體混合物及富氧液體的情況下在其他塔中接受處理，其中來自其他塔的氧耗盡氣體混合物的至少一部分可被送入第四塔。以此方式，側流的一部分經由其他塔的旁路而進入第四塔。其他塔特別是形成為兩部分並且包括兩個堆疊佈置的部分，該等部分被流體密封的分隔塔板隔開，其中至少在上部的頂部處（視情況亦在下部的頂部處）提取氧耗盡氣體混合物，並且從下部的底層提取富氧液體。來自第三塔的側流特別是被氣態送入上部的下部區域。特別是從上部的底層提取液體並將該液體回輸到第三塔中。第四塔的底層液體特別是作為回流被送到上部的頂部處，但亦可部分地作為回流被送到下部上。在此種配置中，下部起到（高純）氧塔的功能。不同的技術方案圖示於所附圖式中。

【0065】 最後，本發明係關於一種空氣分離設備，關於其特徵，明確地提請參閱相應的獨立請求項。此種空氣分離設備特別是用於實施上文以不同技

術方案所闡述的方法，並且具有相應構件。關於相應的空氣分離設備的特徵與優點，明確地提請參閱有關本發明之方法的說明。

【0066】 下面將參考所附圖式對本發明進行詳細闡述，所附圖式圖示本發明的技術方案以及非本發明的實施方式。

【圖式簡單說明】

【0067】 圖1係根據本發明之空氣分離設備。

【0068】 圖2係根據本發明之空氣分離設備。

【0069】 圖3係根據本發明之空氣分離設備。

【0070】 圖4係根據本發明之空氣分離設備。

【0071】 圖5係圖1之空氣分離設備之變體。

【實施方式】

【0072】 圖1至圖4示出空氣分離設備，該等空氣分離設備中落入申請專利範圍之保護範圍者，分別對應於本發明的技術方案，否則便是與背景技術及/或非本發明的技術方案有關。根據圖1至圖4的空氣分離設備分別總體上以符號100至400標示。以下闡述係關於相應的空氣分離設備100至400，但其同樣與相應方法有關。圖示於圖5中的空氣分離設備500呈現為圖1中所示出的空氣分離設備100的變體。此處所圖示的態樣亦可實現為其他設備，特別是設備200至400。以下闡述，特別是針對根據圖1的設備100的闡述，同樣與設備500有關，即使未具體參考之。

【0073】 圖1至圖4中示出的所有空氣分離設備100至400皆配設有塔系統，撇開設計區別與塔數區別不談，該塔系統總體上用10標示。其中，塔系統10分別具有第一塔11、第二塔12、第三塔13及第四塔14。

【0074】 第二塔12及第三塔13分別形成為基本為習知類型之雙塔的一部分。在此情況下明確地提請參考開篇所引用的關於空氣分離設備之專業文獻，特別是關於Häring案（見上）的圖2.3A的闡述，該圖示出相應的雙塔。

【0075】 第一塔11與第二塔12及第三塔13分開形成。第一塔11配設有冷凝蒸發器111，該冷凝蒸發器用於冷凝第一塔11的頂部氣體並且在根據圖1至圖3的技術方案中形成為經典的頂部冷凝器。來自第一塔11的底層液體被送入在圖示示例中分別形成為強制流式冷凝蒸發器的冷凝蒸發器111，該底層液體的輸送不使用泵。

【0076】 此處所圖示的本發明技術方案的一個重要態樣分別為：藉由冷凝第一塔11的頂部氣體而形成回流液體，並且將該回流液體回輸到第一塔11上。其中，為了冷凝第一塔11的頂部氣體，使得在使用上述來自第一塔11的底層液體的情況下而形成的液態冷卻流逆著第一塔11的頂部氣體蒸發或部分蒸發。藉由膨脹機5使冷卻流蒸發或部分蒸發時所形成的氣體膨脹做功而減壓至第二壓力範圍的壓力並將該氣體送入第二塔12中。

【0077】 第二塔12及第三塔13透過內部的冷凝蒸發器121（所謂的主冷凝器）彼此處於熱交換連接。主冷凝器121一方面用於冷凝第二塔12的頂部氣體，另一方面用於蒸發第三塔13的底層液體。作為此處所圖示的技術方案的替代方案，第二塔12及第三塔13亦可分開形成。作為替代方案，主冷凝器121亦可形成於外部。不同類型的冷凝蒸發器皆可用作主冷凝器121。

【0078】 第四塔14在根據圖1至圖4的所有空氣分離設備100至400中皆用於氫的獲取。在圖示示例中不存在粗氫塔，而是設備100至400分別形成為用於從第四塔14提取氫產品。關於粗氫塔與精氫塔以及相應修改，同樣可參閱前述專業文獻中的引文。

【0079】 第四塔配設有冷凝頂部氣體的冷凝蒸發器（頂部冷凝器）141。在根據圖1至圖3的技術方案中，以來自第一塔11的一部分底層液體冷卻此冷凝蒸發器，而在根據圖4的技術方案中，則是使用來自第二塔12的底層液體。所使用的底層液體事先由過冷式逆流熱交換器18過度冷卻。在此處所圖示的示例中，頂部冷凝器141中的未蒸發部分至少部分地被送入第三塔13中。在此處所圖示的示例中，蒸發部分則用於吸附器的再生，若是在根據圖3的空氣分離設備300中，則是用於形成回輸流，下文還將對此進行說明。

【0080】 在根據圖1至圖4的所有空氣分離設備100至400中皆設有其他塔15，在該其他塔中，在來自第四塔14的一部分底層流與來自第三塔13的側流之間進行物質交換，並且來自第四塔14的一部分底層流耗盡了更易揮發的組分。其他塔15具有在功能上完全相分離的上部區域及下部區域。進一步的細節將在下文中予以說明。其他塔15配設有冷凝蒸發器152，以來自第二塔12的頂部氣體為該冷凝蒸發器加熱。

【0081】 作為直接對應於塔系統10的組件，在根據圖1至圖3的所有空氣分離設備100至300中皆存在泵19，該泵將來自第四塔14的底層液體回輸到其他塔15中。

【0082】 在根據圖1至圖4的所有空氣分離設備100至400中皆在第一塔11中形成底層液體，該底層液體在此被稱為第一底層液體。相應地，在第二塔12

中形成第二底層液體，在第三塔13中形成第三底層液體，在第四塔14中形成第四底層液體。第一塔11在第一壓力範圍內運行，第二塔12在低於第一壓力範圍的第二壓力範圍內運行，第三塔13在低於第二壓力範圍的第三壓力範圍內運行。第二底層液體以高於第一底層液體的氧含量及高於第一底層液體的氫含量而形成，第三底層液體以高於第二底層液體的氧含量及低於第二底層液體的氫含量而形成。關於壓力範圍以及氧含量及氫含量，請參閱前述相關闡述。

【0083】 在根據圖1至圖4的所有空氣分離設備100至400中，皆以下述方式將流體從第一塔11送入第二塔12（且在根據圖1至圖3的空氣分離設備100至300中進一步送入第三塔13）。此外，將流體從第二塔12送入第三塔13以及將流體從第四塔14送入第三塔13。在根據圖1至圖4的所有空氣分離設備100至400中，從第三塔13被送入第四塔14的流體皆包括以低於第二底層液體的氧含量及高於第二底層液體的氫含量從第三塔13提取的側流的至少一部分。至少在此處所圖示的技術方案中，上述其他流體分別包括相關底層液體的至少一部分。在所有情況下皆可進行直接饋送或者透過連接在兩塔之間的頂部冷凝器或類似之物進行饋送，並且可進行相應的部分饋送。

【0084】 接下來，首先將特別是詳細闡述根據圖1的空氣分離設備100。為清楚起見，關於根據圖2至圖4的空氣分離設備200、300及400的闡述分別僅涉及不同於此之特徵。在圖2、圖3及圖4中，相同特徵亦僅部分地以相應符號標示。

【0085】 在根據圖1的空氣分離設備100中，藉由主空氣壓縮機1並透過未單獨標號的、圖示為陰影線的過濾器從在此一般性地以A標示的大氣中吸入輸

入空氣流a，在同樣未單獨標號的再冷器中對該輸入空氣流進行再冷卻並將其提供給以冷卻水W運行的直接接觸式冷卻器2。

【0086】 在直接接觸式冷卻器2中所進行的預冷卻之後，在吸附裝置3中以文獻中多次提到的方式為進一步以a標示的輸入空氣流去除水及二氧化碳。可藉由再生氣流z將前文中亦一般性地被稱為「吸附器」的吸附裝置3再生。再生氣流z的形成將在下文中說明。

【0087】 進一步以a標示的、經相應處理且因而經提純的輸入空氣流在熱側被提供給主熱交換器4。在冷側或者說在主熱交換器的冷端處從主熱交換器4提取輸入空氣流a並送入第一塔11。

【0088】 從第一塔11中抽取該塔的底層液體，並且在根據圖1至圖3的空氣分離設備100至300中將該底層液體分成兩個分流d及e。分流d在此被送入冷凝蒸發器111中並蒸發。接著，已蒸發的分流d在主熱交換器4中被部分加熱，而後在與發電機G耦接的膨脹機5中膨脹減壓至第二塔12的工作壓力，並且在下部區域中被送入此第二塔12。底層液體在根據圖4的空氣分離設備400中所接受的處理不同於此。詳見下文。

【0089】 而在根據圖1至圖3的空氣分離設備100至300中，分流e則是經導引而穿過過冷式逆流熱交換器18且接著穿過冷凝蒸發器141。如圖中的關聯符(Verknüpfung) f所示，亦可將一部分送入第二塔12。頂部冷凝器141中所形成的氣體可用作前述再生氣流z。為此，先後在過冷式逆流熱交換器18及主熱交換器4中加熱該氣體。如此處的物料流g所示，液態的剩餘部分被送入第三塔13。在根據圖4的空氣分離設備400中未形成相應的分流e或f。此處亦明確地提請參考下文的具體闡述。

【0090】 第一塔11的頂部氣體部分地以物料流h之形式經導引而穿過頂部冷凝器111的冷凝室並作為液態回流被回輸到第一塔11上。另一部分以物料流i的形式在主熱交換器4中被加熱並且作為氣態氮加壓產品從空氣分離設備100中被導出或另作他用。

【0091】 第二塔12的底層液體以物料流j的形式從該塔中被抽取，經導引而穿過過冷式逆流熱交換器18並被送入第三塔13。在根據圖4的空氣分離設備400中，物料流j代替起冷卻作用的物料流e（見上）穿過冷凝蒸發器141。空氣分離設備400的頂部冷凝器141中所形成的氣體在此亦可用作再生氣流，為方便起見，該再生氣流同樣以z標示。在根據圖4的空氣分離設備400中，進一步將氣體從頂部冷凝器141或其蒸發室送入第三塔13中。如圖4中的物料流g所示，液態的剩餘部分被送入第三塔13。

【0092】 第二塔12的頂部氣體部分地以物料流k之形式經導引而穿過主冷凝器121的冷凝室，在該處液化並且仍部分地作為液態回流被回輸到第二塔12上。另一部分以物料流l的形式在冷凝蒸發器152的冷凝室中液化。在根據圖1至圖3的空氣分離設備100至300中，如圖中的關聯符l所示，此另一部分與在主冷凝器121的冷凝室中液化的部分合併。相應的液體亦可作為回流被泵6送到第一塔11上。在根據圖1至圖3的技術方案中，泵6係輸送在上部區域中從第二塔12提取的液態富氮流b。在根據圖1至圖3的示例中，來自第二塔12的頂部氣體的另一部分以物料流c的形式從設備中輸出。

【0093】 在根據圖3的空氣分離設備400的技術方案中，不發生物料流k的液化部分與物料流l之合併。確切而言，物料流k的部分在液化之後彼此分開地被送到第二塔12及第三塔13上。物料流l單獨地被送入第三塔13。

【0094】 第三塔13的底層液體以物料流o的形式從該塔中被抽取，被內壓縮泵7液態加壓，在主熱交換器4中經加熱而轉變成氣態或臨界狀態並且作為氣態氮加壓產品從空氣分離設備100中被導出或另作他用。在底層上方從第三塔13以物料流p之形式提取的氣體則與來自第三塔13的殘餘氣體（見下）合併成收集流q，該收集流接下來在主熱交換器4中被加熱並且從空氣分離設備100中被導出或另作他用。

【0095】 第三塔13的頂部氣體以物料流r的形式經導引而穿過過冷式逆流熱交換器18，並且在根據圖1至圖3的空氣分離設備100至300中，如前所述與物料流o合併成收集流q。在根據圖4的空氣分離設備400中進行單獨導出。

【0096】 此外，從第三塔13中氣態抽取側流t並且將其先送入其他塔15的上部。物料流u則是從其他塔15的上部被液態回輸到第三塔13中。其中，在其他塔15的上部與來自第四塔14的底層液體進行物質交換，在根據圖1至圖3的空氣分離設備100至300中，該底層液體以物料流v的形式被液態送到其他塔15的上部及下部。在根據圖4的空氣分離設備400中，物料流v僅被送入其他塔15的上部。

【0097】 在其他塔15的下部，更易揮發的組分被冷凝蒸發器152加熱而排出。分別從其他塔15的上部及下部抽取氣體，在根據圖1至圖3的空氣分離設備100至300中，該氣體以物料流w的形式被送入第四塔14。而在根據圖4的空氣分離設備400中，僅為第四塔14提供來自其他塔15的上部的氣流w'。其他塔15的上部與下部之間的氣體交換及液體交換在此係以物料流w''及w'''之形式進行。如此一來，側流t的一部分最終被送入第四塔14，並且最終有一部分底層液體從第四

塔被回輸到第三塔13中。在此處所圖示的所有示例中，其他塔15亦可例如分別佈置於第一塔11的頂部冷凝器111上方。

【0098】 來自其他塔15的下部的底層液體以物料流x的形式被抽取並且在圖示示例中被送入儲罐系統T。需要時從儲罐系統T提取為清楚起見而同樣以x標示的物料流，該物料流在主熱交換器4中蒸發並作為高純氣態氧產品被輸出。

【0099】 富氫液體以物料流y的形式從第四塔14被提取，被其他的內壓縮泵8液態加壓，在主熱交換器4中經加熱而轉變成氣態或臨界狀態並且作為氣態氫加壓產品從空氣分離設備100中被導出或另作他用。在根據圖4的空氣分離設備400中，在此情況下進一步圖示相應的儲罐系統T'。

【0100】 作為設備100的其他產品，可提供基本上習知的液氮、液氧（視情況亦可具有不同純度）及液氫，圖中例如以第一塔11的液化頂部氣體h的分流之形式示出。在根據圖4的空氣分離設備400的技術方案中，進一步示出藉由物料流h'將液氮送入冷凝蒸發器111中。

【0101】 圖示於圖2中的、根據本發明的技術方案而形成的空氣分離設備200與圖1所示的空氣分離設備之間的主要區別在於，物料流d在膨脹機8中膨脹之前未被加熱。

【0102】 圖示於圖3中的空氣分離設備300與圖2所示的空氣分離設備200之間的主要區別在於，在主熱交換器4的熱側對物料流z進行劃分，其中物料流z的分流z'被壓縮機9壓縮，在主熱交換器4中冷卻並被送入第二塔12。除此之外，空氣分離設備300亦可等同於圖1所示的空氣分離設備100。

【0103】 圖4所示的空氣分離設備400聯繫習知的SPECTRA工藝對本發明所提出的措施進行圖示。其中，除了前述的底層流d外，還從第一塔11提取底層上方的其他物料流d'，且該其他物料流與物料流d一樣在主熱交換器4中被再次冷卻。而後在冷凝蒸發器111中進行蒸發。

【0104】 物料流d的一部分在與發電機G耦接的膨脹機5中膨脹並且如前所述（見關聯符D）被送入第二塔12中。物料流d的剩餘殘餘物在主熱交換器4中被部分加熱，隨後在與壓縮機402及制動器403耦接的其他膨脹機401中膨脹。接著從空氣分離設備400中導出。液化物料流h的一部分被液態導出並且視情況逆著同一個物料流的一部分在過冷器404中被過度冷卻。用於過度冷卻的部分可與物料流d的膨脹殘餘物合併。

【0105】 物料流d'則是在冷凝蒸發器111中蒸發之後至少部分地在壓縮機402中被壓縮，在主熱交換器4中被再度冷卻並被導回到第一塔11中。

【0106】 如前所述，圖示於圖5中的空氣分離設備500呈現為根據圖4的空氣分離設備100的變體。具體而言，該變體的特徵係在於對風機501的使用，藉由該風機使物料流q的一部分（在此以q'標示）達到物料流z的壓力並被饋入該物料流中。

【0107】 如前所述，此種技術方案特別是在以下情況下是有利的：對輸入空氣進行預冷卻時未使用製冷機，因而對再生氣體的需求比較高。若對氮產品中的氮含量的要求比較高，則亦能取得優點。請參閱前述相關說明。

【符號說明】

【0108】

- 1:主空氣壓縮機
- 2:直接接觸式冷卻器
- 3:吸附裝置
- 4:主熱交換器
- 5:膨脹機
- 6:泵
- 7:內壓縮泵
- 8:內壓縮泵/膨脹機
- 9:壓縮機
- 10:塔系統
- 11:第一塔
- 12:第二塔
- 13:第三塔
- 14:第四塔
- 15:塔
- 18:過冷式逆流熱交換器
- 19:泵
- 100:空氣分離設備/設備
- 111:冷凝蒸發器
- 121:冷凝蒸發器/主冷凝器
- 141:冷凝蒸發器/頂部冷凝器
- 152:冷凝蒸發器

200:空氣分離設備/設備

300:空氣分離設備/設備

400:空氣分離設備/設備

401:膨脹機

402:壓縮機

403:制動器

404:過冷器

500:空氣分離設備

501:風機

A:大氣

a:輸入空氣流

b:液態富氮流

c:物料流

D:關聯符

d:分流/物料流/底層流

d':物料流

e:分流/物料流

f:關聯符/分流

G:發電機

g:物料流

h:物料流/液化頂部氣體/液化物料流

h':物料流

- i:物料流
- j:物料流
- k:物料流
- l:物料流/關聯符
- o:物料流
- p:物料流
- q:收集流/物料流
- q':物料流q的一部分
- r:物料流
- T:儲罐系統
- T':儲罐系統
- t:側流
- u:物料流
- v:物料流
- W:冷卻水
- w:物料流
- w':氣流
- w":物料流
- w":物料流
- x:物料流
- y:物料流
- z:再生氣流/物料流
- z':分流