



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本

(11)證書號數：TW I608206 B

(45)公告日：中華民國 106 (2017) 年 12 月 11 日

(21)申請案號：105117991

(22)申請日：中華民國 105 (2016) 年 06 月 07 日

(51)Int. Cl. : F25J1/00 (2006.01)

F25J3/02 (2006.01)

F25J3/08 (2006.01)

(30)優先權：2015/07/15 美國

62/192,657

(71)申請人：艾克頌美孚上游研究公司(美國) EXXONMOBIL UPSTREAM RESEARCH
COMPANY (US)

美國

(72)發明人：小皮埃爾 佛里茲 PIERRE, JR., FRITZ (US)；吉普特 帕拉 GUPTE, PARAG A.
(US)；杭亭頓 理查 HUNTINGTON, RICHARD A. (US)；戴特 羅伯 DENTON,
ROBERT DEAN (US)

(74)代理人：林志剛

(56)參考文獻：

US 4415345

US 2009/0217701A1

US 2010/0251763A1

US 2011/0036121A1

US 2013/0199238A1

審查人員：吳耿榮

申請專利範圍項數：23 項 圖式數：11 共 56 頁

(54)名稱

藉由預冷卻天然氣供給流以增加效率的液化天然氣 (LNG) 生產系統

INCREASING EFFICIENCY IN AN LNG PRODUCTION SYSTEM BY PRE-COOLING A NATURAL
GAS FEED STREAM

(57)摘要

在此揭示藉由使用液化的氮(LIN)作為冷凍劑以生產液化天然氣(LNG)的系統及程序。溫室氣體
汙染物藉由使用溫室氣體移除單元而被從 LIN 移除。LNG 在由 LIN 所冷卻以前被壓縮。

Described herein are systems and processes to produce liquefied natural gas (LNG) using liquefied
nitrogen (LIN) as the refrigerant. Greenhouse gas contaminants are removed from the LIN using a
greenhouse gas removal unit. The LNG is compressed prior to being cooled by the LIN.

指定代表圖：

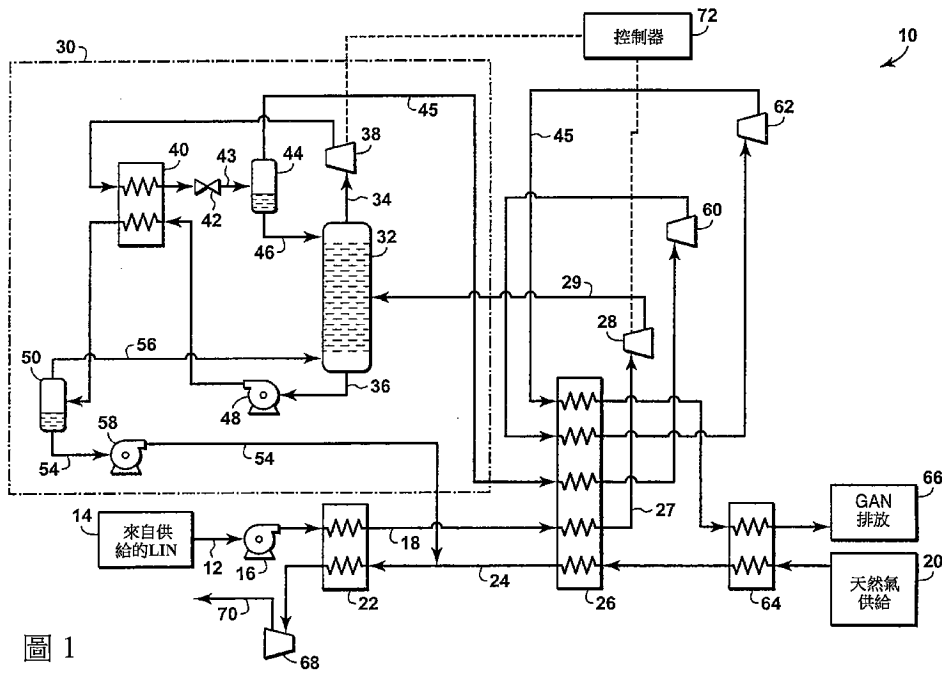


圖 1

符號簡單說明：

- 10 . . . 系統
- 12 . . . LIN 流
- 14 . . . LIN 供給系統
- 16 . . . LIN 泵
- 18 . . . 加壓的 LIN 流
- 20 . . . 天然氣供給
- 22 . . . 第一熱交換器
- 24 . . . 天然氣流
- 26 . . . 第二熱交換器
- 27 . . . 污染的氣態氮流(cGAN 流)
- 28 . . . 第一膨脹器
- 29 . . . 膨脹的 cGAN 流
- 30 . . . 溫室氣體移除單元
- 32 . . . 蒸餾柱
- 34 . . . 頂部流
- 36 . . . 溫室氣體產物流
- 38 . . . 頂部壓縮器
- 40 . . . 熱泵熱交換器
- 42 . . . 壓力降低裝置
- 43 . . . 部分地冷凝的頂部流
- 44 . . . 第一分離器
- 45 . . . 頂部產物流
- 46 . . . 柱回流流
- 48 . . . 底部泵
- 50 . . . 第二分離器
- 54 . . . 分離的溫室氣體產物流

- 56 . . . 柱再沸器蒸汽流
- 58 . . . 溫室氣體泵
- 60 . . . 第二膨脹器
- 62 . . . 第三膨脹器
- 64 . . . 第三熱交換器
- 66 . . . GAN 排放
- 68 . . . 壓力降低裝置
- 70 . . . LNG 流
- 72 . . . 控制器

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動)

【發明名稱】(中文/英文)

藉由預冷卻天然氣供給流以增加效率的液化天然氣
(LNG)生產系統

Increasing efficiency in an LNG production system by pre-cooling a
natural gas feed stream

〔相關申請案的交互參照〕

[0001] 本申請案主張 2015 年 7 月 15 日所申請的發明名稱為 “INCREASING EFFICIENCY IN AN LNG PRODUCTION SYSTEM BY PRE-COOLING A NATURAL GAS FEED STREAM” 的美國專利申請案第 62/192,657 號的優先權，其全部內容在此以參照方式併入。

[0002] 本申請案係關於具有共同發明人及受讓人且在與此相同的日期申請的發明名稱為 “Liquefied Natural Gas Production System And Method With Greenhouse Gas Removal” 的美國臨時專利申請案，其全部內容在此以參照方式併入。

【技術領域】

[0003] 本發明關於天然氣的液化以形成液化天然氣 (LNG)，且更確切地，關於在偏遠或易受影響的區域之 LNG 生產，而在此區域，資本設施的建造及/或維護、及/

或傳統 LNG 工廠的環境衝擊可能是有害的。

【先前技術】

[0004] LNG 生產是將天然氣從具有天然氣豐富供給的地點供給至具有天然氣強烈需求的遠方地點之快速發展的手段。傳統 LNG 循環包括：(a) 天然氣來源的起初處理，以將像是水、硫化物、及二氧化碳的污染物移除；(b) 像是丙烷、丁烷、戊烷等的一些較重的碳氫氣體的分離，其係藉由包括自身冷凍 (self-refrigeration)、外部冷凍、貧油 (lean oil) 等的各種不同可能方法；(c) 天然氣的冷凍 (refrigeration)，其係實質藉由外部冷凍以在接近大氣壓力及大約 -160°C 形成 LNG；(d) LNG 產物的運輸，其係以設計用於此目的的船或液體運輸工具 (tanker) 送至市場地點；(e) LNG 的再加壓及再氣化，其將 LNG 變成可被分配至天然氣消費者的加壓天然氣。傳統 LNG 循環的步驟 (c) 通常需要使用大型的冷凍壓縮器，其經常由排放實質碳或其他排放物的大型氣體渦輪驅動機所驅動。需要數十億美元的大型資本投資及大規模的基礎架構 (infrastructure) 來作為液化工廠的一部份。傳統 LNG 循環的步驟 (e) 一般地包括藉由使用低溫 (cryogenic) 泵來將 LNG 再加壓至所需的壓力、以及然後藉由透過中間流體進行熱交換來將 LNG 再氣化成加壓的天然氣，但最終是以海水、是或藉由燃燒一部分的天然氣來加熱及汽化 LNG。一般而言，低溫 LNG 的可行的可

用能量 (exergy) 未被運用。

[0005] 在不同地點所生產的像是液化的氮氣 (“LIN”) 的冷的冷凍劑 (refrigerant) 能被使用來將天然氣液化。所知為 LNG-LIN 概念的程序係關於非傳統 LNG 循環，其中至少上述步驟 (c) 由實質地使用液態氮 (LIN) 作為冷卻的開放迴路來源之天然氣液化程序所取代，且其中上述步驟 (e) 被修改成運用冷溫 LNG 的可用能量來促進氮氣的液化以形成 LIN，LIN 然後可被運輸至資源地點且被使用作為用於 LNG 的生長的冷凍來源。美國專利第 3,400,547 說明將液態氮或液態空氣從市場位置運送至它被使用來將天然氣液化的現場地。美國專利第 3,878,689 說明使用 LIN 作為冷凍來源以生產 LNG 之程序。美國專利第 5,139,547 號說明使用 LNG 作為冷凍劑以生產 LIN。

[0006] LNG-LIN 概念另包括 LNG 的以船或液體運輸工具從資源地點至市場地點的運輸，及 LIN 的從市場地點至資源地點的反向運輸。相同的船或液體運輸工具的使用及或許共同陸上儲槽的使用被預期來將成本及所需的基礎架構最小化。結果，可預期有 LIN 造成的 LNG 的一些污染及 LNG 造成的 LIN 的一些污染。由於用於管線及類似分配手段的天然氣規格 (像是由美國聯邦能源管理委員會所公布者) 允許出現一些惰性氣體，LIN 造成的 LNG 的污染不太可能是主要的關注重點。然而，由於在資源地點的 LIN 最終將被排放至大氣，LNG 造成的 LIN 的污染

（溫室氣體超過二氧化碳 20 倍的衝擊力）必須被降低至對於這樣的排放可接受的水準。將儲槽的剩餘含量移除的技術係廣為所知的，但對於達成所需的低污染水準以避免在排放氣態氮（GAN）以前於資源地點處進行 LIN 或汽化的氮的處理，它可能是不經濟的、或不為環境可接受的。

[0007] 美國專利申請案公開第 2010/0251763 號說明使用 LIN 及液化的二氧化碳（CO₂）兩者作為冷凍劑之 LNG 的液化程序的變型。雖然 CO₂ 本身是溫室氣體，液化的 CO₂ 較不可能與 LNG 或其他溫室氣體共用儲存或運輸設施，故污染為不太可能。然而，LIN 可如上所述被類似地污染，且應在所產生的 GAN 流的排放以前被淨化。此外，除了由 LIN 的汽化所提供的一次通過的冷凍，LNG 液化系統可藉由利用丙烷、混合成分或封閉的冷凍循環來預冷天然氣而被輔助。在這些案例中，氣態氮的淨化（decontamination）在排放 GAN 以前依然可為所需的。所需的是使用 LIN 作為冷凍劑以生產 LNG 的方法，其中如果 LIN 及 LNG 使用共同的儲存設施，LIN 中出現的任何溫室氣體能被有效率地移除。

【發明內容】

[0008] 本發明提供一種液化天然氣生產系統。天然氣流從天然氣的供給所供給。冷凍劑流從冷凍劑供給所供給。至少一個熱交換器在冷凍劑流與天然氣流之間交換熱，以將冷凍劑流至少部分地汽化及將天然氣流至少部分

地冷凝。天然氣壓縮器 (compressor) 將天然氣流壓縮至至少 135 bara 的壓力，以形成壓縮的天然氣流。在壓縮的天然氣流由天然氣壓縮器所壓縮以後，天然氣冷卻器 (cooler) 將壓縮的天然氣流冷卻。在壓縮的天然氣流由天然氣冷卻器所冷卻以後，天然氣膨脹器 (expander) 將壓縮的天然氣流膨脹至小於 200 bara 但不大於天然氣壓縮器壓縮天然氣流的壓力之壓力。天然氣膨脹器被連接至至少一個熱交換器，以將天然氣供給至至少一個熱交換器。

[0009] 本發明亦提供一種生產液化天然氣 (LNG) 的方法。天然氣流從天然氣的供給所供給。冷凍劑流從冷凍劑供給所供給。天然氣流及液化的氫流被傳送通過第一熱交換器，第一熱交換器在冷凍劑流與天然氣流之間交換熱，以將冷凍劑流至少部分地汽化及將天然氣流至少部分地冷凝。天然氣流在天然氣壓縮器中被壓縮至至少 135 bara 的壓力，以形成壓縮的天然氣流。在壓縮的天然氣流由天然氣壓縮器所壓縮以後，壓縮的天然氣流在天然氣冷卻器中被冷卻。在壓縮的天然氣流由天然氣冷卻器所冷卻以後，壓縮的天然氣流在天然氣膨脹器中被膨脹至小於 200 bara 但不大於天然氣壓縮器壓縮天然氣流的壓力之壓力。天然氣被從天然氣冷卻器供給至至少一個熱交換器，以在至少一個熱交換器中被部分地冷凝。

[0010] 本發明另提供一種移除被使用來將天然氣流液化的液態的氫流中的溫室氣體污染物的方法。天然氣流在天然氣壓縮器中被壓縮至至少 135 bara 的壓力，以形成

壓縮的天然氣流。在壓縮的天然氣流由天然氣壓縮器所壓縮以後，壓縮的天然氣流在天然氣冷卻器中被冷卻。在壓縮的天然氣流由天然氣冷卻器所冷卻以後，壓縮的天然氣流在天然氣膨脹器中被膨脹至小於 200 bara 但不大於天然氣壓縮器壓縮天然氣流的壓力之壓力。天然氣流及液化的氮流被傳送通過第一熱交換器，第一熱交換器在液化的氮流與天然氣流之間交換熱，以將液化的氮流至少部分地汽化及將天然氣流至少部分地冷凝。液化的氮流被循環通過第一熱交換器至少三次。藉由使用至少一個膨脹器處理（expander service），至少部分地汽化的氮流的壓力被降低。溫室氣體移除單元被提供成包括蒸餾柱（distillation column）及熱泵冷凝器和再沸器系統（heat pump condenser and reboiler system）。蒸餾柱的頂部流（overhead stream）的壓力及冷凝溫度被增加。蒸餾柱的頂部流及蒸餾柱的底部流（bottom stream）被交互交換（cross-exchanged），以影響蒸餾柱的頂部冷凝器負載（duty）及底部再沸器負載兩者。在交互交換步驟以產生蒸餾柱的降壓的頂部流以後，蒸餾柱的頂部流的壓力被降低。蒸餾柱的降壓的頂部流被分離，以產生第一分離器頂部流。第一分離器頂部流是離開溫室氣體移除單元而使溫室氣體被從其移除的氣態氮。第一分離器頂部流被排放至大氣。

【圖式簡單說明】

[0011] 圖 1 是藉由使用液態氮作為主要冷凍劑來將天然氣液化以形成 LNG 的系統的示意圖；

[0012] 圖 2 是藉由使用液態氮作為主要冷凍劑來將天然氣液化以形成 LNG 的系統的示意圖；

[0013] 圖 3 是藉由使用液態氮作為主要冷凍劑來將天然氣液化以形成 LNG 的系統的示意圖；

[0014] 圖 4 是藉由使用液態氮作為主要冷凍劑來將天然氣液化以形成 LNG 的系統的示意圖；

[0015] 圖 5 是藉由使用液態氮作為主要冷凍劑來將天然氣液化以形成 LNG 的系統的示意圖；

[0016] 圖 6 是藉由使用液態氮作為主要冷凍劑來將天然氣液化以形成 LNG 的系統的示意圖；

[0017] 圖 7 是藉由使用液態氮作為主要冷凍劑來將天然氣液化以形成 LNG 的系統的示意圖；

[0018] 圖 8 是藉由使用液態氮作為主要冷凍劑來將天然氣液化以形成 LNG 的系統的示意圖；

[0019] 圖 9 是輔助冷凍系統的示意圖；

[0020] 圖 10 是將天然氣液化以形成 LNG 的方法之流程圖；及

[0021] 圖 11 是移除被使用來將天然氣液化的液態氮流中的溫室氣體污染物的方法之流程圖。

【實施方式】

[0022] 本發明的各種不同確切實施例及版本現在將

被說明，包括在此所採納的較佳實施例及定義。雖然以下實施方式提供確切的較佳實施例，本領域的技術人士將會明瞭這些實施例僅為例示性，且本發明能以其他方式實施。本“發明”的參考內容可參照一個以上但不必然為全部的由申請專利範圍所界定的實施例。標題的使用僅為了方便的目的，且未限制本發明的範圍。為了清楚及簡潔起見，數個圖中的類似元件編號代表類似物件、步驟、或結構，且未必在每個圖中被詳細地說明。

[0023] 實施方式及申請專利範圍內的所有數值在此由“大約”、“近似”所指的值所修飾，且將本領域的一般技術人士所能預期的實驗誤差及變型納入考量。

[0024] 如在此所使用，用語“壓縮器”意指藉由功的施加而增加氣體的壓力的機器。“壓縮器”或“冷凍劑壓縮器”包括能夠增加氣體流的壓力之任何單元、裝置、或設備。這包括具有單一個壓縮程序或步驟的壓縮器、或具有多階段壓縮或步驟的壓縮器、或更特別是單一個殼或罩內的多階段壓縮器。待壓縮的汽化流能被以不同壓力提供至壓縮器。冷卻程序的一些階段或步驟可涉及並聯、串聯或兩者的兩個以上的壓縮器。本發明不受限於一個或多個壓縮器的類型或配置或佈置，特別是在任何冷凍劑迴路中。

[0025] 如在此所使用，“冷卻”廣泛地意指將物質的溫度及/或內能降低及/或下降任何適合的、想要的、或需要的量。冷卻可包括至少約 1 °C、至少約 5 °C、至少

約 10 °C、至少約 15 °C、至少約 25 °C、至少約 35 °C、或至少約 50 °C、或至少約 75 °C、或至少約 85 °C、或至少約 95 °C、或至少約 100 °C 的溫度下降。冷卻可使用任何適合的散熱器 (heat sink)，像是蒸氣產生、熱水加熱、冷卻水、空氣、冷凍劑、其他處理流 (整合)、及其組合。一個以上的冷卻來源可被合併及/或被堆疊，以達到想要的出口溫度。冷卻步驟可將冷卻單元與任何適合的裝置及/或設備來使用。根據一些實施例，冷卻可包括像是與一個以上的熱交換器的間接熱交換。在替代方案中，冷卻可使用汽化 (汽化熱) 冷卻及/或像是直接地噴灑液體至處理流中的直接熱交換。

[0026] 如在此所使用，用語“膨脹裝置”是指適合於降低一個線路中的流體 (例如，液體流、蒸汽流、或含有液體及蒸汽的多相流體) 的壓力之一個以上的裝置。除非特別類型的膨脹裝置被確切地指出，膨脹裝置可為 (1) 至少部分地藉由等焓 (isenthalpic) 手段，或 (2) 至少部分地藉由等熵 (isentropic) 手段，或 (3) 至少部分地藉由等焓手段及等熵手段的組合。用於天然氣的等焓膨脹的裝置在本領域中是所知曉的且一般地包括但不受限為例如像是閥、控制閥、焦耳-湯姆森 (J-T) 閥、或文氏管裝置的手動或自動致動的節流 (throttling) 裝置。用於天然氣的等熵膨脹的裝置在本領域中是所知曉的且一般地包括但不受限為像是從這樣的膨脹抽取或獲得功的膨脹器或渦輪膨脹器之設備。用於液體流的等熵膨脹的裝置在本

領域中是所知曉的且一般地包括但不受限為像是從這樣的膨脹抽取或獲得功的膨脹器、液壓膨脹器、液體渦輪機、或渦輪膨脹器之設備。等焓手段及等熵手段的組合的一個範例可為並聯的焦耳-湯姆森 (Joule-Thomson) 閥及渦輪膨脹器，其提供個別單獨使用或同時使用 J-T 閥及渦輪膨脹器兩者之能力。等焓或等熵膨脹能在全液相、全汽相、或混合相中被進行，且能被進行來促進從蒸汽流或液體流至多相流 (具有汽相及液相兩者的流) 或至與起始相不同的單相流之相變化。在於此的圖式說明中，任何圖中的超過一個的膨脹裝置的參考內容並不必然意指每一個膨脹裝置是相同類型或尺寸。

[0027] 用語“氣體”被可互換地與“蒸汽”一起使用，且被界定為與液體狀態或固體狀態區別的氣體狀態下的一物質或數物質的混合物。同樣地，用語“液體”意指與氣體狀態或固體狀態區別的液體狀態下的一物質或數物質的混合物。

[0028] “熱交換器”廣泛地意指能夠將熱能或冷能從一個媒介傳送至另一個媒介 (像是在兩個不同的流體之間) 的任何裝置。熱交換器包括“直接熱交換器”及“間接熱交換器”。因此，熱交換器可為任何適合的設計，像是同流式或逆流式熱交換器、間接式熱交換器 (例如，螺旋纏繞式 (spiral wound) 熱交換器、或像是覆銅的鋁板鰭片式的板-鰭片式熱交換器)、直接接觸式熱交換器、殼管式 (shell-and-tube) 熱交換器、螺旋式、回彎式

(hairpin)、芯式、芯釜式 (core-in-kettle)、印刷電路板式、套管式 (double pipe)、或其他類型的已知熱交換器。“熱交換器”亦可指任何柱、塔 (tower)、單元、或其他配置，其適於允許一個以上的流的傳送通過，且適於影響一個以上的線路的冷卻劑 (coolant) 與一個以上的進給流之間的直接或間接熱交換。

[0029] 如在此所使用，用語“間接熱交換”意指在沒有流體彼此的實體接觸或相互混合的情形下促成兩個流體的熱交換關係。芯釜式熱交換器及覆銅的鋁板-鰭片式熱交換器是有利於非直接熱交換的設備的範例。

[0030] 如在此所使用，用語“天然氣”是指從原油井 (關聯氣體) 或從地下含氣層 (非關聯氣體) 所獲得的多成分氣體。天然氣的組成及壓力能顯著地變化。典型的天然氣流含有作為主要成分的甲烷 (C_1)。天然氣流亦可含有乙烷 (C_2)、較高分子量碳氫化物、及一個以上的酸性氣體。天然氣亦可含有像是水、氫、硫化鐵、蠟、及原油的少量污染物。

[0031] 某些實施例及特徵藉由使用一組數值上限及一組數值下限而已被說明。應該明瞭的是，設想有從任何下限至任何上限的範圍，除非指出並非如此。所有數值為“大約”或“近似”所指的值，且將本領域的一般技術人士所能預期的實驗誤差及變型納入考量。

[0032] 本申請案所引述的所有專利、測試程序、及其他文件以參照方式被完整地併入，其係達這樣揭示並未

與本申請案不一致的程度且用於允許這樣的併入的所有司法轄區。

[0033] 在此所說明者為關於天然氣液化處理的系統及程序，其係藉由使用一次通過的作為主要冷凍劑的 LIN，以在氣態氫的排放以前移除 LIN 的剩餘 LNG 污染物的實質部分。本發明的確切實施例包括參照圖來說明的以下段落中所提出者。雖然一些特徵僅特別參照一個圖（像是圖 1、圖 2、或圖 3）來說明，它們可均等地應用於其他圖，且可與其他圖或前述討論組合來使用。

[0034] 圖 1 顯示系統 10，其藉由使用液態氮（LIN）作為主要外部冷凍劑而將天然氣液化以產生 LNG。系統 10 可被稱為 LNG 生產系統。LIN 流 12 被從 LIN 供給系統 14 接收，LIN 供給系統 14 可包含一個以上的液體運輸工具、儲槽、管線、或其組合。LIN 供給系統 14 可作為 LIN 儲存與 LNG 儲存之間的交替服務。LIN 流 12 可由像是甲烷、乙烷、丙烷、或其他烷烴或烯烴的溫室氣體所污染。雖然污染的程度基於被使用來在 LIN 儲存及 LNG 儲存之間切換以前將 LIN 供給系統清空及清洗的方法而可改變，LIN 流 12 可被溫室氣體污染達近似 1% 的容積百分比。LIN 流 12 以大氣壓力或接近大氣壓力、及以大約 -196°C 的溫度（接近幾乎純氮的大氣沸點）被供給。LIN 流 12 被傳送透過 LIN 泵 16，LIN 泵 16 將 LIN 的壓力增加至近似 20 bara（絕對 bar）及 200 bara 之間，其中較佳壓力為大約 90 bara。此泵程序可在 LIN 流 12 內

增加 LIN 的溫度，但所預期的是，LIN 將實質維持於液態形式。加壓的 LIN 流 18 然後流動通過一系列的熱交換器及膨脹器，以將熱從進來的天然氣供給 20 移除，以將天然氣冷凝成 LNG。仍參照圖 1，加壓的 LIN 流 18 流動通過將天然氣流 24 冷卻的第一熱交換器 22。加壓的 LIN 流 18 然後首次流動通過再次將天然氣流冷卻的第二熱交換器 26。

[0035] 在 LIN 通過第一熱交換器 22 及第二熱交換器 26 以後，所預期的是，LIN 及任何溫室氣體污染物將被完全地汽化，以形成污染的氣態氮（cGAN）流 27。當氣態氮如進一步所說明來處理時，即便它如在此所說明是氣態氮或 cGAN，它可能不被完全地汽化。為了簡單起見，氣態或部分地冷凝的氮仍被稱為 cGAN 或氣態氮。

[0036] cGAN 流 27 被導向至第一膨脹器 28。第一膨脹器 28 的輸出流，亦即膨脹的 cGAN 流 29，被導向至溫室氣體移除單元 30。膨脹的 cGAN 流 29 的壓力主要地基於 cGAN 混合物（典型地是氮、甲烷、乙烷、丙烷、丁烷及其他潛在溫室氣體）的相態包絡線（phase envelope）而可具有從 5 bara 至 30 bara 的範圍。在一的方面中，膨脹的 cGAN 流 29 的壓力在 19 bara 與 20 bara 之間，且膨脹的 cGAN 流 29 的溫度大約是攝氏 -153 度。然而，如果像是吸附、吸收、或催化處理的替代移除技術被使用，膨脹的 cGAN 流的壓力可低至 1 bara。

[0037] 溫室氣體移除單元 30 可為所需以生產 GAN

流，其中溫室氣體含量少於 500 ppm、或少於 200 ppm、或少於 100 ppm、或少於 50 ppm、或少於 20 ppm。溫室氣體移除單元 30 可為所需以生產溫室氣體產物流（greenhouse gas product stream），其中氮含量少於 80%、或少於 50%、或少於 20%、或少於 10%、或少於 5%。

[0038] 溫室氣體移除單元 30 可包括部分地回流（reflux）及部分地再沸的蒸餾柱 32。蒸餾柱 32 基於氮及溫室氣體的汽化溫度的不同而將氣態氮從溫室氣體污染物分離。蒸餾柱的輸出是將氣態氮流淨化的頂部流 34、以及亦即溫室氣體產物流 36 的底部產物。側再沸器、側冷凝器及中間抽取器（未示出）可被包括來移除蒸餾柱 32 中的其他地點處的產物。

[0039] 溫室氣體移除單元 30 可包括頂部冷凝器，其與蒸餾柱 32 關聯且具有由與來自 LNG 生產系統的其他部分（或甚至來自輔助冷凍系統）的 LIN、GAN、cGAN、天然氣或 LNG 來源熱交換所供給的冷卻負載。類似地，溫室氣體移除單元可包括再沸器再沸器，其與蒸餾柱 32 關聯且具有由與來自 LNG 生產系統的其他部分或 LNG 生產系統外部的另一處理的 LIN、GAN、cGAN、天然氣或 LNG 熱交換所供給的加熱負載。這些類型的配置的缺點是蒸餾柱冷凝器及再沸器的大型冷凝及大型沸騰型加熱需求對於將天然氣冷凝成 LNG 的整體加熱及冷卻曲線的負面衝擊。這些衝擊可導致降低可得的 LIN 供給的有效性之熱

300 中，天然氣壓縮器 202 的排放壓力可增加至由熱交換設備的經濟選擇及透過天然氣膨脹器 302 降低的額外壓力所指出的範圍。壓縮、冷卻及膨脹的組合進一步在天然氣進入第三熱交換器 64 或第二熱交換器 26 以前將天然氣預冷。例如，天然氣壓縮器 202 可將天然氣供給壓縮至大於 135 bara 的壓力，且天然氣膨脹器可將天然氣的壓力降低至小於 200 bara，但不會有大於天然氣壓縮天然氣的壓力的情形。在一個實施例中，天然氣流藉由天然氣壓縮器而被壓縮至大於 200 bara 的壓力。在另一個實施例中，天然氣膨脹器將天然氣流膨脹至小於 135 bara 的壓力。然而，天然氣膨脹器 302 的第三熱交換器 64 下游的地點（如圖 3 中所示）將傳送通過第三熱交換器 64 的 GAN 的溫度顯著地降低。如此冷卻的 GAN 的溫度可遠低於當地環境溫度，藉此，將 GAN 安全地及/或有效率地排放至大氣的成效複雜化。

[0048] 圖 4 繪示類似於 LNG 生產系統 300 的 LNG 生產系統 400。在 LNG 生產系統 400 中，第三熱交換器 64 被放置成致使來自天然氣供給 20 的天然氣在通過天然氣壓縮器 202 以前進入第三熱交換器中。將第三熱交換器 64 如圖 4 中所示地放置會降低進入天然氣壓縮器 202 的天然氣的溫度，且因此降低天然氣壓縮器 202 所需的壓力及功率。額外地，GAN 排放 66 溫度被回復至類似於圖 1 中所顯示的實施例。

[0049] 圖 5 描繪類似於 LNG 生產系統 300 及 400 的

LNG 生產系統 500。在 LNG 生產系統 500 中，第三熱交換器 64 位於天然氣壓縮器 202 與天然氣冷卻器 204 之間。此放置犧牲 LNG 生產系統 400（圖 4）所提供之天然氣壓縮器 202 的潛在功率降低，但導致 GAN 排放溫度的大量增加，以顯著地改進 GAN 排煙飄浮性及擴散性。此放置亦降低天然氣冷卻器 204 的冷卻負載，且因而降低天然氣冷卻器 204 及其相關的支援系統（例如，冷卻水、空氣鰭片功率供給等）之尺寸、資本成本及操作成本。

[0050] 圖 6 繪示類似於 LNG 生產系統 400 的 LNG 生產系統 600。在 LNG 生產系統 600 中，當頂部產物流循環通過第二熱交換器 26 及第二膨脹器 60、第三膨脹器 62 時，頂部產物流 45 中的 GAN 受到熱泵系統中的額外熱泵冷凍。如圖 6 中所描繪，熱泵系統包括氮壓縮器 602、氮冷卻器 604、及進給-流出（feed-effluent）熱交換器 606 被添加於第三膨脹器 62 的上游。氮壓縮器 602、氮冷卻器 604、及進給-流出熱交換器 606 的此組合的添加增加第三膨脹器 62 的入口處可得的壓力，而僅有小量增加至第三膨脹器 62 的入口溫度。氮壓縮器 602、氮冷卻器 604、及進給-流出熱交換器 606 的此組合的添加增加由第三膨脹器 62 所產生的功率，且增加從流動通過 LNG 生產系統 600 的此部分的頂部產物流 45 中的 GAN 所移除的熱。此組合亦導致相較於圖 4 再進入第二熱交換器 26 的較低 GAN 溫度，且亦導致 LNG 生產系統 600 中的可得的 LIN 供給的有效性的增加。

由使用至少一個膨脹器處理。在方塊 1112 處，溫室氣體移除單元被提供成包括蒸餾柱及熱泵冷凝器和再沸器系統。在方塊 1114 處，蒸餾柱的頂部流的壓力及冷凝溫度被增加。在方塊 1116 處，蒸餾柱的頂部流及蒸餾柱的底部流被交互交換，以影響蒸餾柱的頂部冷凝器負載及底部再沸器負載兩者。在方塊 1118 處，蒸餾柱頂部流的壓力在交互交換步驟以後被降低，以產生降壓的蒸餾柱頂部流。在方塊 1120 處，降壓的蒸餾柱頂部流被分離，以產生氣態氮的第一分離器頂部流，氣態氮離開溫室氣體移除單元而使溫室氣體被從其移除。在方塊 1122 處，第一分離器頂部流被排放至大氣。

[0058] 此等實施例及方面提供從使用來將天然氣液化的 LIN 流移除溫室氣體污染物之有效方法。本發明的優點是溫室氣體移除單元 30 中的熱泵系統去除用於從氮分離溫室氣體的外部加熱或冷卻源的需要性。

[0059] 從 LIN 有效率移除溫室氣體的另一個優點是 LIN 儲存設施能被更經濟地使用作為 LNG 儲存設施，藉此，降低天然氣處理設施的氣足跡。

[0060] 又另一個優點是在沒有溫室氣體的不欲釋放至大氣中的情形下氣態氮可被排放。

[0061] 雖然參照圖 1 至 11 而在此所討論的例示性實施例涉及藉由使用 LIN 作為主要冷卻劑來生產 LNG，本領域的一般技術人士會瞭解此等原理可應用於其他冷卻方法及冷卻劑。例如，所揭示的方法及系統可被使用於沒有

供 LNG 及 LIN 用的共用儲存的情形，且所欲的是將 LNG 或其他液化方法中所使用的冷卻劑簡單地淨化。

[0062] 本發明的實施例可包括以下編號段落的方法及系統的任何組合。這不被視為所有可能的實施例的完整條列，因為任何數目的變型可從以上說明被思及。

1. 一種液化天然氣生產系統，該液化天然氣生產系統包含：

來自天然氣的供給的天然氣流；

來自冷凍劑供給的冷凍劑流；

至少一個熱交換器，其在該冷凍劑流與該天然氣流之間交換熱，以將該冷凍劑流至少部分地汽化及將該天然氣流至少部分地冷凝；

天然氣壓縮器，其將該天然氣流壓縮至至少 135 bara 的壓力，以形成壓縮的天然氣流；

天然氣冷卻器，其在該壓縮的天然氣流由該天然氣壓縮器所壓縮以後將該壓縮的天然氣流冷卻；及

天然氣膨脹器，其在該壓縮的天然氣流由該天然氣冷卻器所冷卻以後將該壓縮的天然氣流膨脹至小於 200 bara 但不大於該天然氣壓縮器壓縮該天然氣流的該壓力之壓力，

其中該天然氣膨脹器被連接至該至少一個熱交換器，以將天然氣供給至該至少一個熱交換器。

2. 如段落 1 所述的液化天然氣生產系統，其中該天然氣壓縮器將該天然氣流壓縮至大於 200 bara 的壓力。

3.如段落 1 或 2 所述的液化天然氣生產系統，其中該天然氣膨脹器將該壓縮的天然氣流膨脹至小於 135 bara 的壓力。

4.如段落 1 至 3 中的任一者所述的液化天然氣生產系統，其中該至少一個熱交換器包含第一熱交換器，且另包含第二熱交換器，該第二熱交換器在該天然氣流於該天然氣壓縮器中被壓縮以前冷卻該天然氣流。

5.如段落 4 所述的液化天然氣生產系統，其中該冷凍劑流被使用來在該第二熱交換器中冷卻該天然氣流。

6.如段落 1 至 5 中的任一者所述的液化天然氣生產系統，其中該至少一個熱交換器包含第一熱交換器，且另包含第二熱交換器，該第二熱交換器在該壓縮的天然氣流於該天然氣冷卻器中被冷卻以前冷卻該壓縮的天然氣流。

7.如段落 1 至 6 中的任一者所述的液化天然氣生產系統，其中該冷凍劑流包含液化的氮流，且其中該至少一個熱交換器將該氮流至少部分地汽化。

8.如段落 7 所述的液化天然氣生產系統，另包含溫室氣體移除單元，其被建構成將溫室氣體從該至少部分地汽化的氮流移除。

9.如段落 8 所述的液化天然氣生產系統，其中該溫室氣體移除單元包含具有熱泵冷凝器和再沸器系統的蒸餾柱，且另包含降低該至少部分地汽化的氮流的壓力之至少一個膨脹器處理，其中該蒸餾柱的入口流是該至少一個膨脹器處理的第一個的出口流。

10.如段落 9 所述的液化天然氣生產系統，另包含熱泵系統，該至少部分地汽化的氫流在流動通過該至少一個膨脹器處理的第一個以後流動通過該熱泵系統。

11.如段落 10 所述的液化天然氣生產系統，其中該熱泵系統包括熱泵壓縮器、熱泵冷卻器、及進給-流出熱交換器。

12.如段落 1 至 9 中的任一者所述的液化天然氣生產系統，另包含濕溫熱交換器，該濕溫熱交換器使用該至少部分地汽化的氫流，以在該天然氣流進入該至少一個熱交換器以前預冷該天然氣流。

13.如段落 1 至 13 中的任一者所述的液化天然氣生產系統，其中該天然氣冷卻器被建構成在該壓縮的天然氣流由該天然氣壓縮器所壓縮以後將該壓縮的天然氣流冷卻至接近環境溫度。

14.一種生產液化天然氣（LNG）的方法，該生產液化天然氣（LNG）的方法包含：

提供來自天然氣的供給的天然氣流；

提供來自冷凍劑供給的冷凍劑流；

將該天然氣流及該液化的氫流傳送通過第一熱交換器，該第一熱交換器在該冷凍劑流與該天然氣流之間交換熱，以將該冷凍劑流至少部分地汽化及將該天然氣流至少部分地冷凝；

將該天然氣流在天然氣壓縮器中壓縮至至少 135 bara 的壓力，以形成壓縮的天然氣流；

在該壓縮的天然氣流由該天然氣壓縮器所壓縮以後，將該壓縮的天然氣流在天然氣冷卻器中冷卻；

在該壓縮的天然氣流由該天然氣冷卻器所冷卻以後，將該壓縮的天然氣流在天然氣膨脹器中膨脹至小於 200 bara 但不大於該天然氣壓縮器壓縮該天然氣流的該壓力之壓力；及

將天然氣從該天然氣冷卻器供給至該至少一個熱交換器，以在該至少一個熱交換器中被部分地冷凝。

15.如段落 14 所述的生產液化天然氣（LNG）的方法，其中該天然氣壓縮器將該天然氣流壓縮至大於 200 bara 的壓力。

16.如段落 14 或 15 所述的生產液化天然氣（LNG）的方法，其中該天然氣膨脹器將該壓縮的天然氣流膨脹至小於 135 bara 的壓力。

17.如段落 14 至 16 中任一者所述的生產液化天然氣（LNG）的方法，其中該至少一熱交換器包含第一熱交換器，該生產液化天然氣（LNG）的方法另包含：在該天然氣流於該天然氣壓縮器中被壓縮以前，將該天然氣流在第二熱交換器中冷卻。

18.如段落 17 所述的生產液化天然氣（LNG）的方法，其中該冷凍劑流被使用來將該天然氣流在該第二熱交換器中冷卻。

19.如段落 14 至 18 中任一者所述的生產液化天然氣（LNG）的方法，其中該至少一熱交換器包含第一熱交換

器，該生產液化天然氣（LNG）的方法另包含：在該壓縮的天然氣流於該天然氣冷卻器中被冷卻以前，將該壓縮的天然氣流在第二熱交換器中冷卻。

20.如段落 14 至 19 中任一者所述的生產液化天然氣（LNG）的方法，其中該冷凍劑流包含液化的氮流，且其中該至少一個熱交換器將該氮流至少部分地汽化。

21.如段落 20 所述的生產液化天然氣（LNG）的方法，另包含：藉由使用溫室氣體移除單元來將溫室氣體從該至少部分地汽化的氮流移除。

22.如段落 21 所述的生產液化天然氣（LNG）的方法，其中該溫室氣體移除單元包含蒸餾柱及熱泵冷凝器和再沸器系統，且另包含：

增加該蒸餾柱的頂部流的壓力及冷凝溫度；

將該蒸餾柱的該頂部流及該蒸餾柱的底部流交互交換，以影響該蒸餾柱的頂部冷凝器負載及底部再沸器負載兩者；

在該交互交換的步驟以後，降低該蒸餾柱的該頂部流的壓力，以產生該蒸餾柱的降壓的頂部流；及

將該蒸餾柱的該降壓的頂部流分離，以產生第一分離器頂部流，其中該第一分離器頂部流是離開該溫室氣體移除單元而使溫室氣體被從其移除的氣態氮。

23.如段落 22 所述的生產液化天然氣（LNG）的方法，另包含：在該至少部分地汽化的氮流流動通過該至少一個膨脹器處理的第一個以後，將該至少部分地汽化的氮

流流動通過熱泵系統。

24.如段落 14 至 23 中任一者所述的生產液化天然氣 (LNG) 的方法，其中該天然氣冷卻器在該壓縮的天然氣流由該天然氣壓縮器所壓縮以後將該壓縮的天然氣流冷卻至接近環境溫度。

25.一種移除被使用來將天然氣流液化的液態的氮流中的溫室氣體污染物的方法，包含：

將該天然氣流在天然氣壓縮器中壓縮至至少 135 bara 的壓力，以形成壓縮的天然氣流；

在該壓縮的天然氣流由該天然氣壓縮器所壓縮以後，將該壓縮的天然氣流在天然氣冷卻器中冷卻至接近環境溫度；

在該壓縮的天然氣流由該天然氣冷卻器所冷卻以後，將該壓縮的天然氣流在天然氣膨脹器中膨脹至小於 200 bara 但不大於該天然氣壓縮器壓縮該天然氣流的該壓力之壓力；

將該天然氣流及該液化的氮流傳送通過第一熱交換器，該第一熱交換器在該液化的氮流與該天然氣流之間交換熱，以將該液化的氮流至少部分地汽化及將該天然氣流至少部分地冷凝，其中該液化的氮流被循環通過該第一熱交換器至少三次；

藉由使用至少一個膨脹器處理，將該至少部分地汽化的氮流的壓力降低；

提供溫室氣體移除單元，該溫室氣體移除單元包括蒸

餾柱及熱泵冷凝器和再沸器系統；

增加該蒸餾柱的頂部流的壓力及冷凝溫度；

將該蒸餾柱的該頂部流及該蒸餾柱的底部流交互交換，以影響該蒸餾柱的頂部冷凝器負載及底部再沸器負載兩者；

在交互交換步驟以後，降低該蒸餾柱的該頂部流的壓力，以產生該蒸餾柱的降壓的頂部流；

將該蒸餾柱的該降壓的頂部流分離，以產生第一分離器頂部流，其中該第一分離器頂部流是離開該溫室氣體移除單元而使溫室氣體被從其移除的氣態氮；及

將該第一分離器頂部流排放至大氣。

[0063] 雖然前述內容係涉及本發明的實施例，本發明的其他及進一步實施例在沒有背離其基本範圍的情形下可被設想，且其基本範圍由隨後的申請專利範圍所決定。

【符號說明】

[0064]

10：系統

12：LIN 流

14：LIN 供給系統

16：LIN 泵

18：加壓的 LIN 流

20：天然氣供給

22：第一熱交換器

906 : 冷卻器

908 : 輔助壓力降低裝置

1000 : 方法

1002 : 方塊

1004 : 方塊

1006 : 方塊

1008 : 方塊

1010 : 方塊

1012 : 方塊

1014 : 方塊

1100 : 方法

1102 : 方塊

1104 : 方塊

1106 : 方塊

1108 : 方塊

1110 : 方塊

1112 : 方塊

1114 : 方塊

1116 : 方塊

1118 : 方塊

1120 : 方塊

1122 : 方塊

發明摘要

※申請案號：105117991

※申請日：105年06月07日

※IPC分類：F25J 1/00 (2006.01)

F25J 3/02 (2006.01)

F25J 3/08 (2006.01)

【發明名稱】(中文/英文)

藉由預冷卻天然氣供給流以增加效率的液化天然氣
(LNG)生產系統

Increasing efficiency in an LNG production system by pre-cooling a
natural gas feed stream

【中文】

在此揭示藉由使用液化的氮(LIN)作為冷凍劑以生產液化天然氣(LNG)的系統及程序。溫室氣體污染物藉由使用溫室氣體移除單元而被從LIN移除。LNG在由LIN所冷卻以前被壓縮。

【英文】

Described herein are systems and processes to produce liquefied natural gas (LNG) using liquefied nitrogen (LIN) as the refrigerant. Greenhouse gas contaminants are removed from the LIN using a greenhouse gas removal unit. The LNG is compressed prior to being cooled by the LIN.

圖式

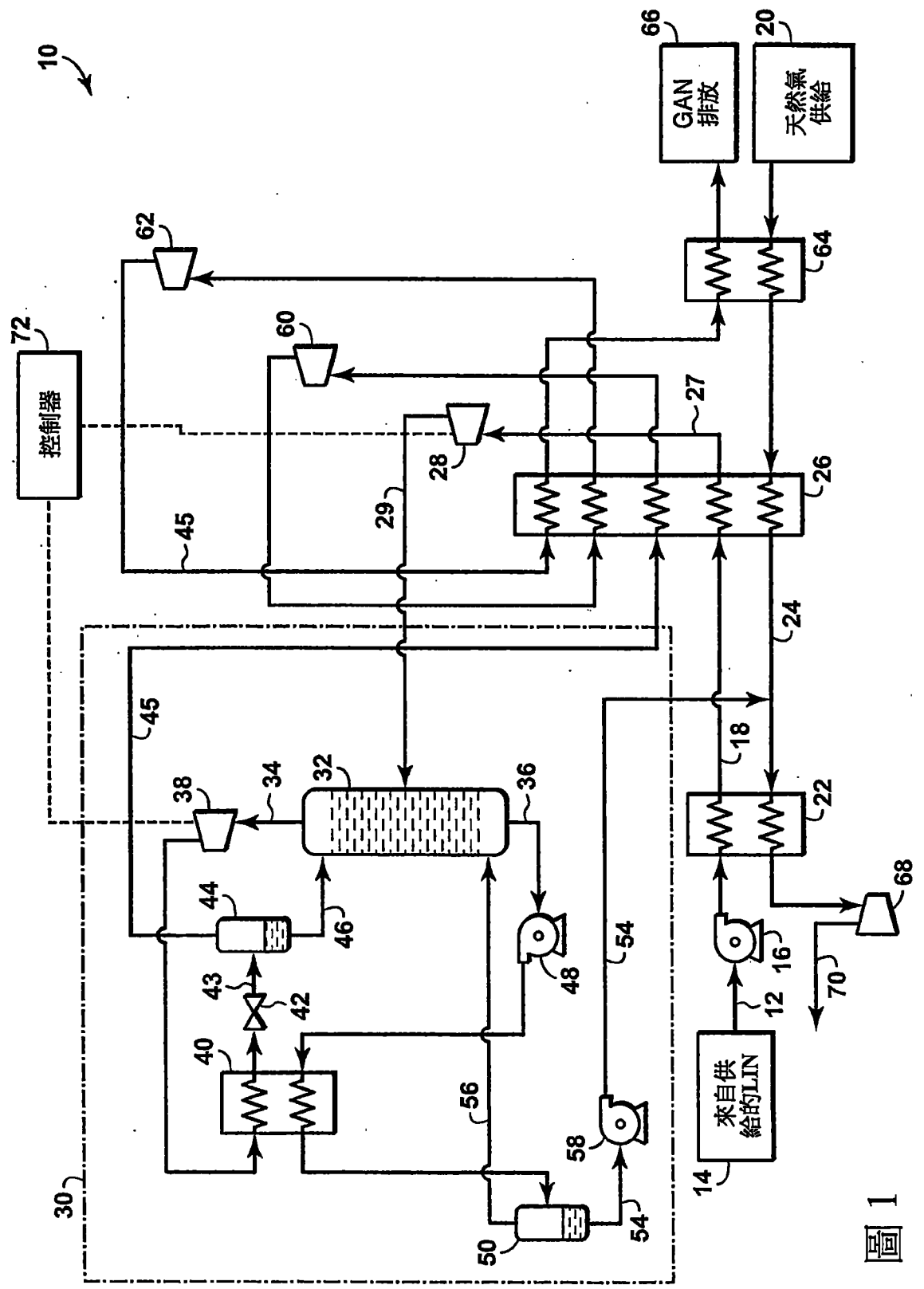


圖 1

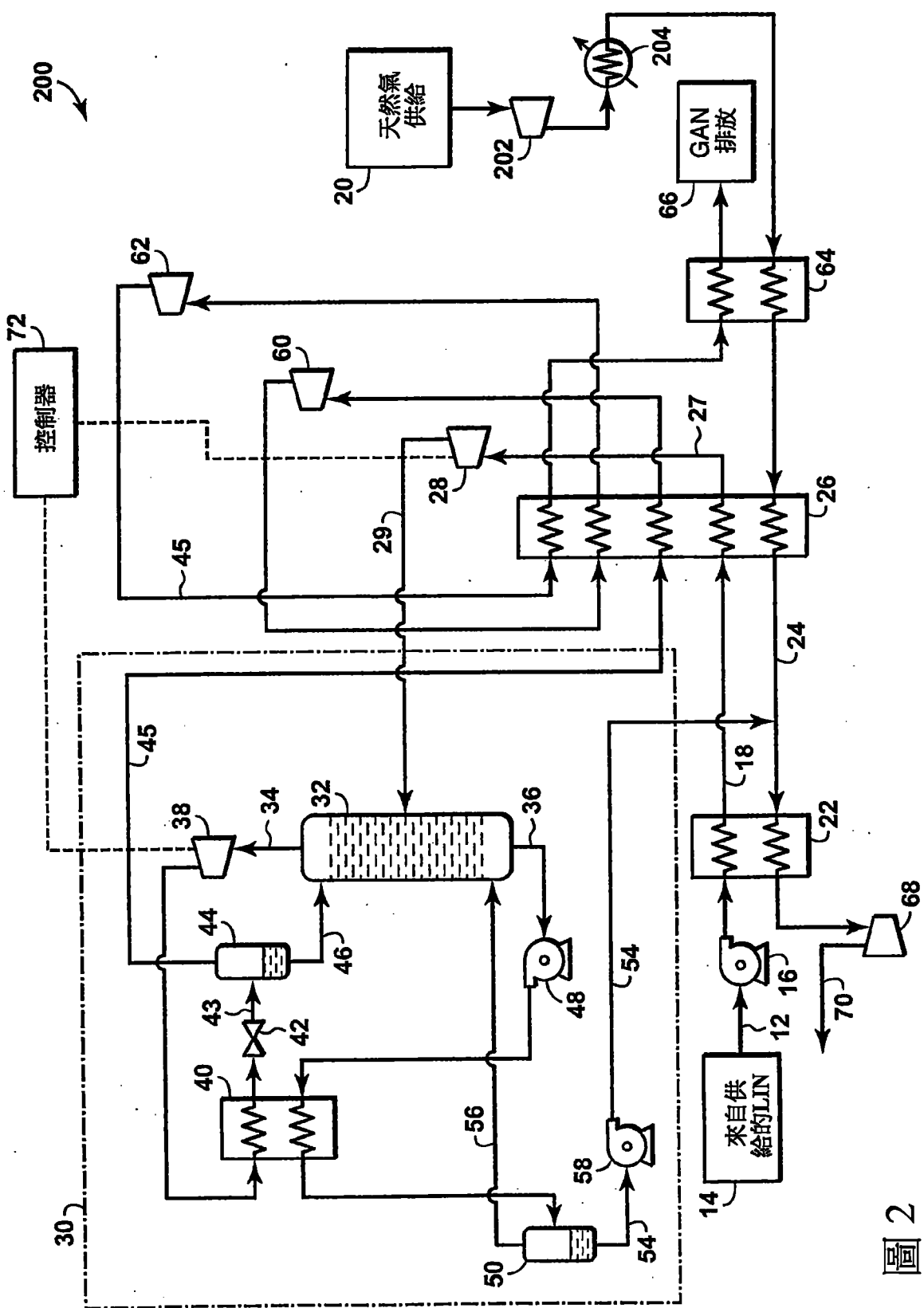


圖 2

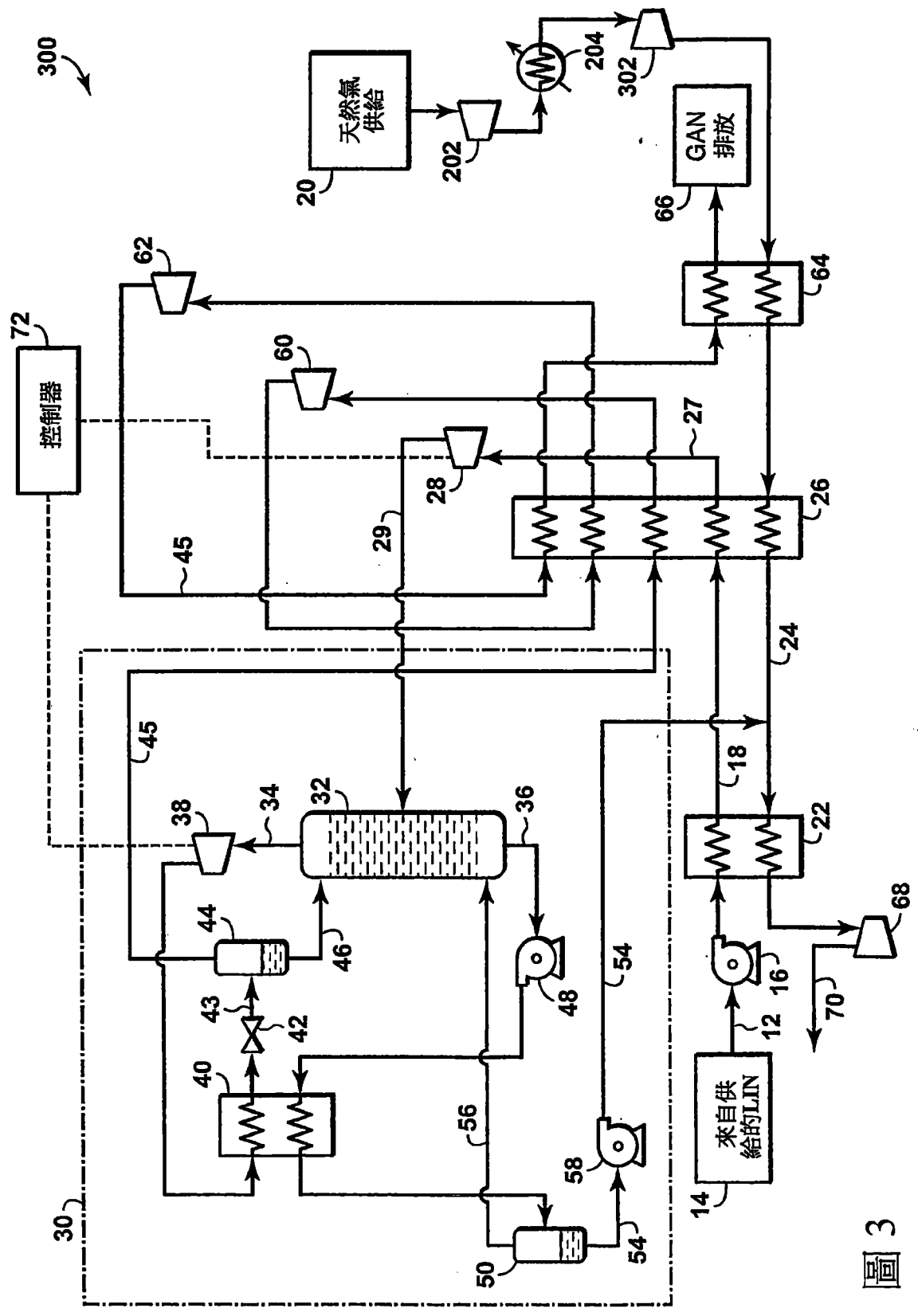


圖 3

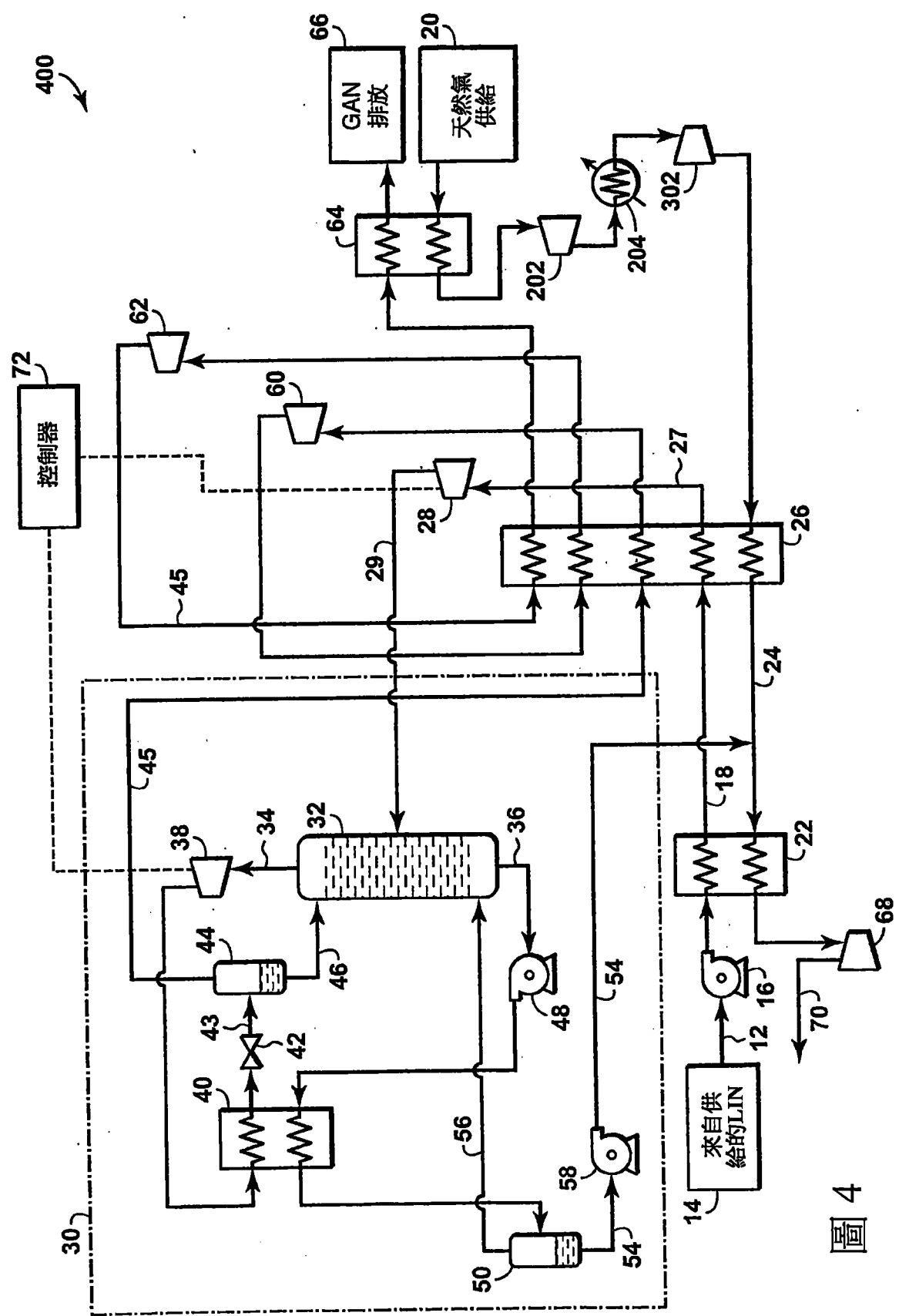


圖 4

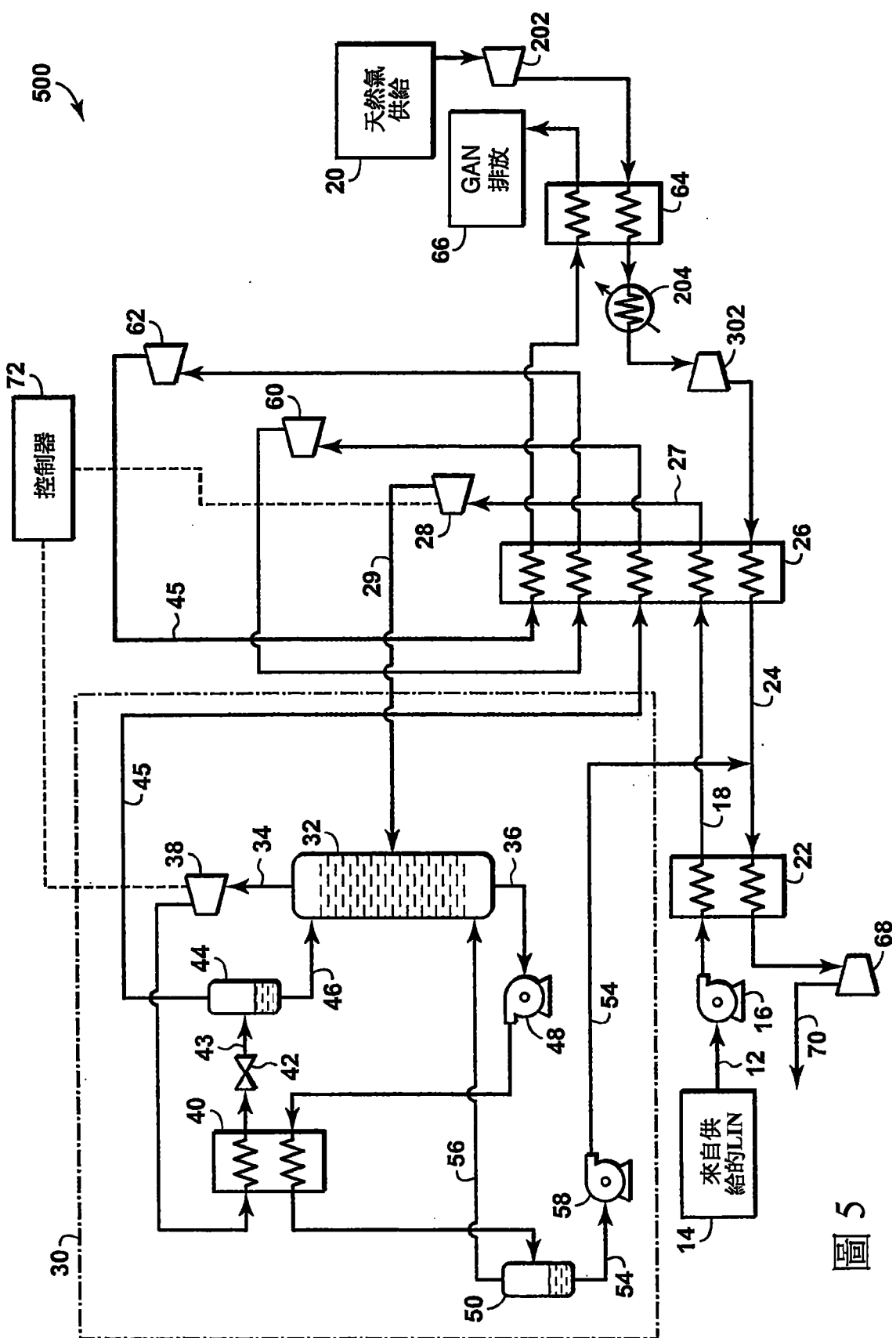


圖 5

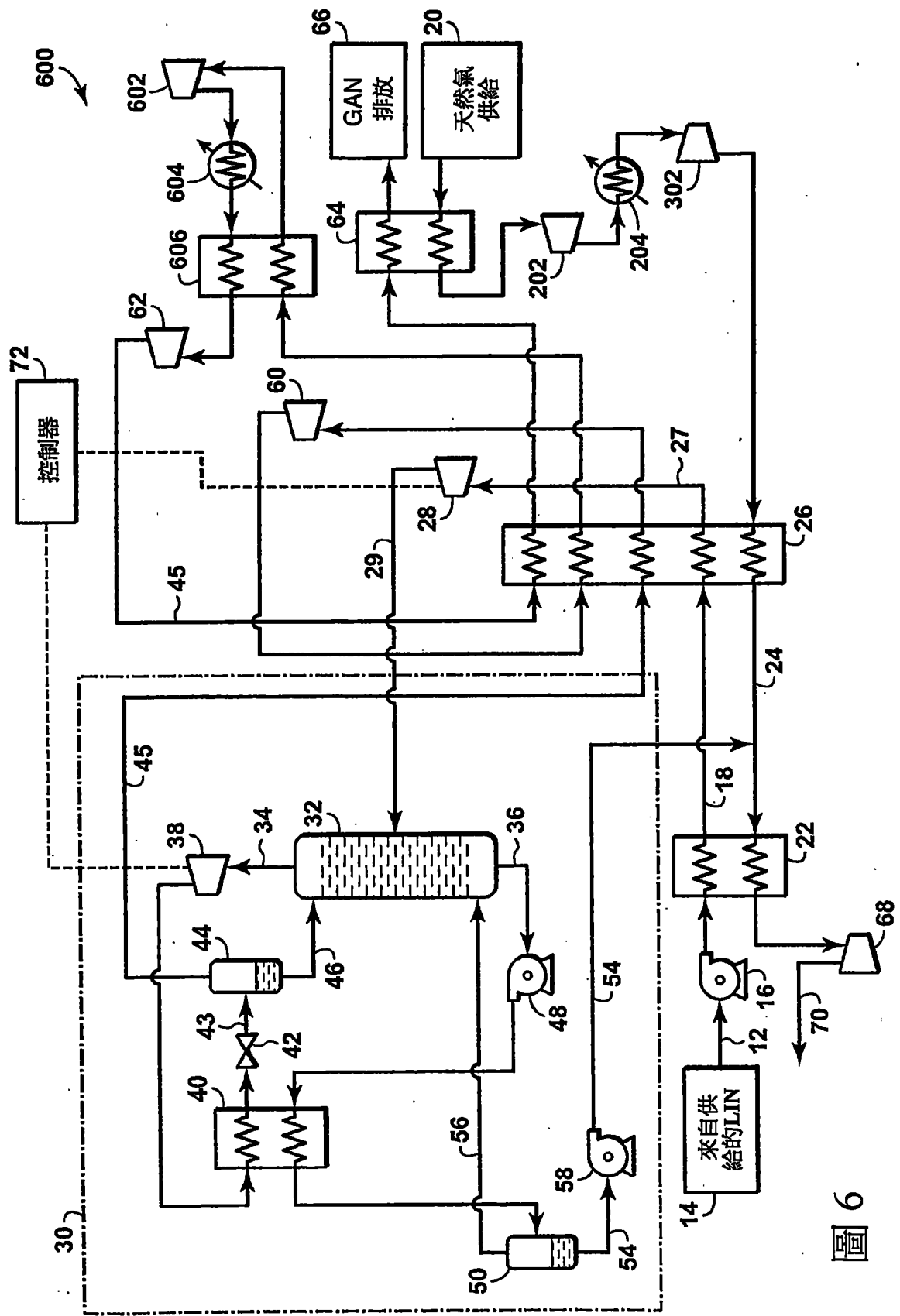


圖 6

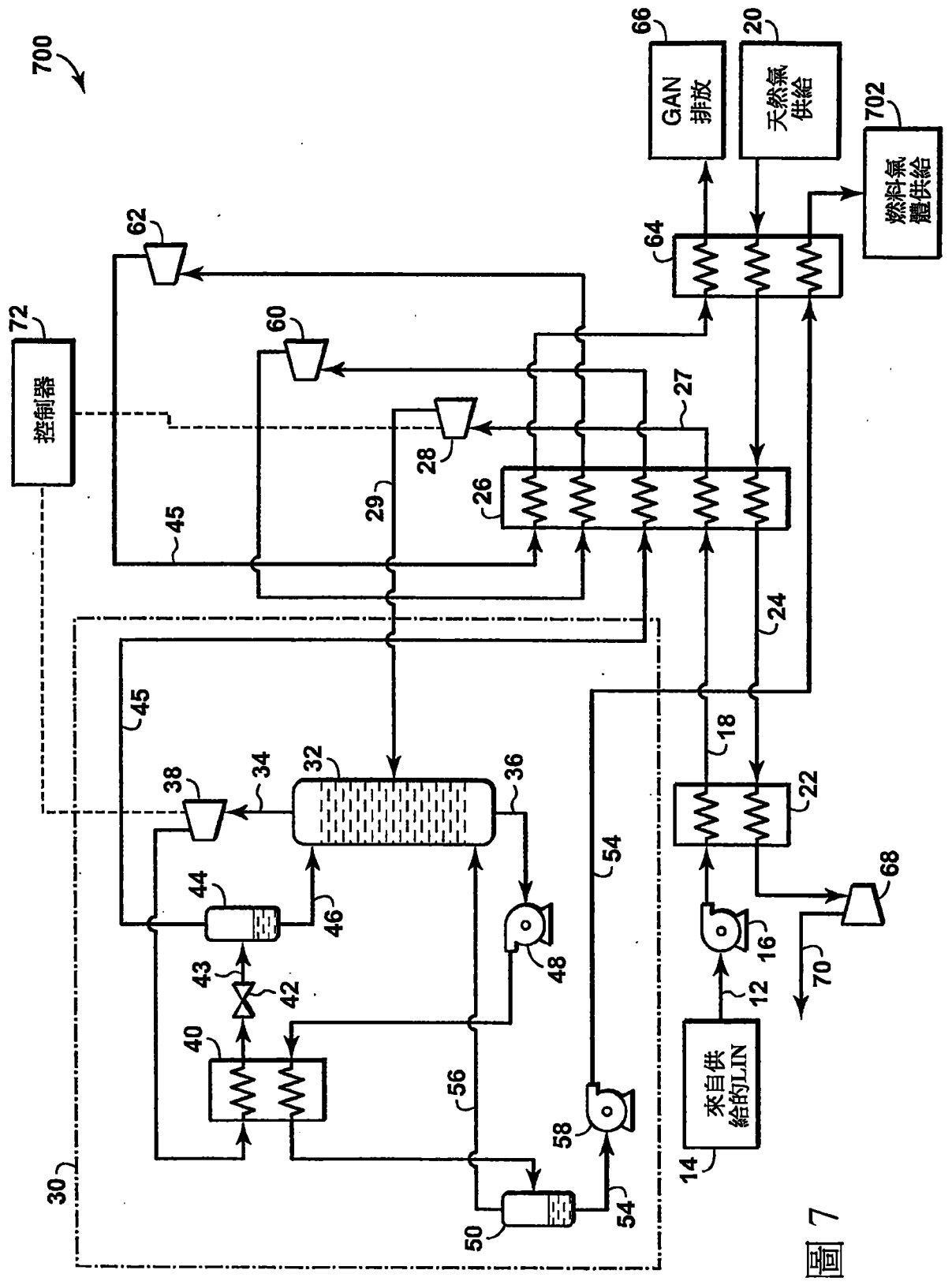


圖 7

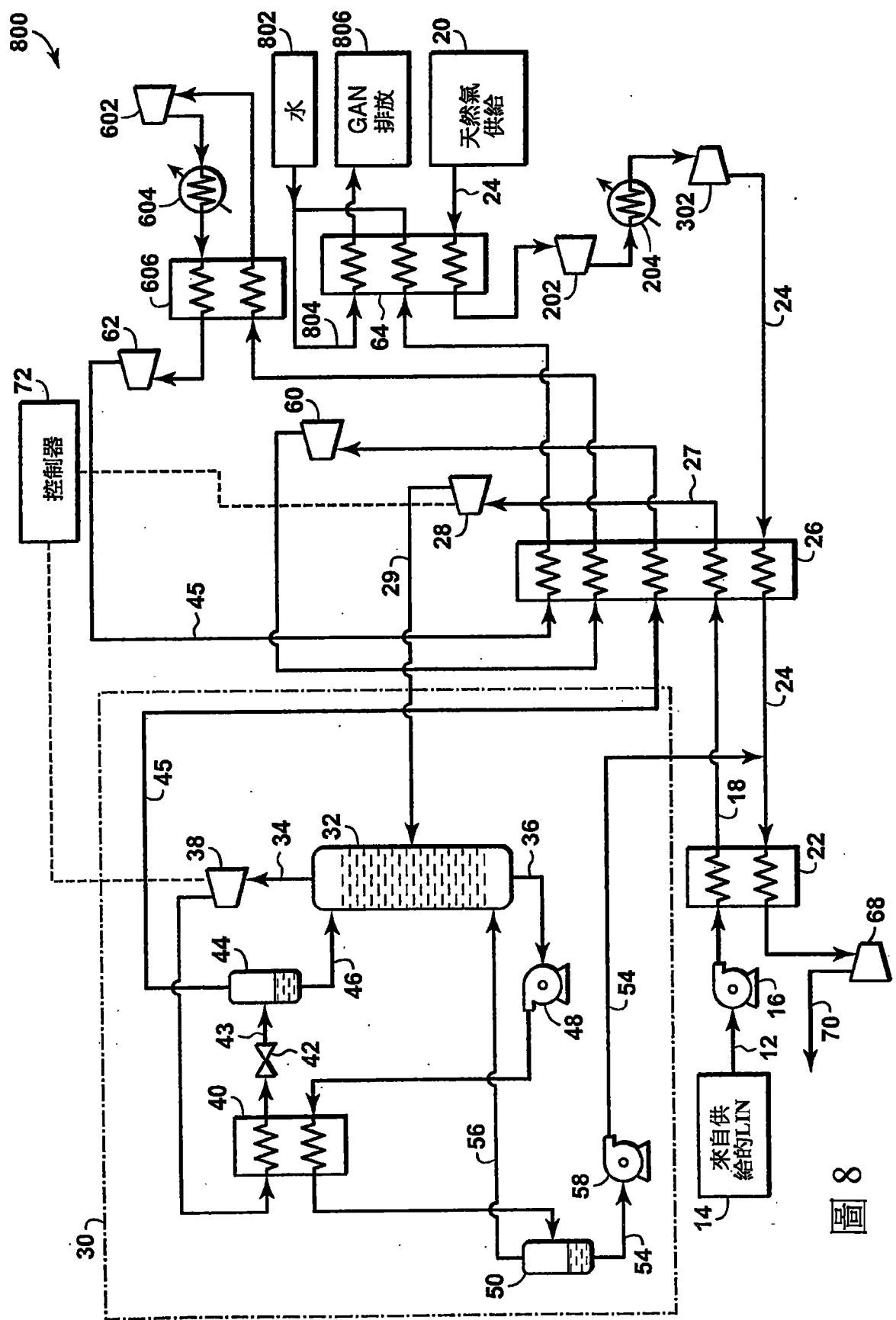


圖 8

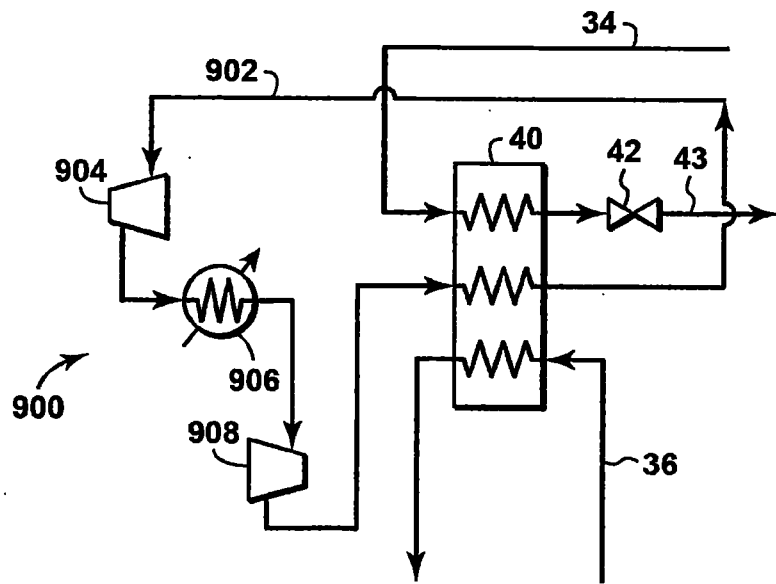


圖 9

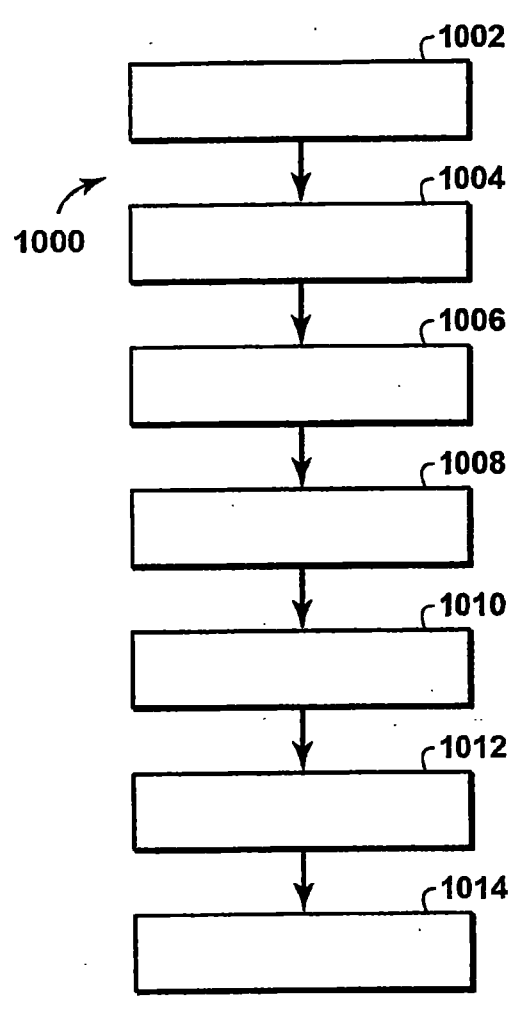


圖 10

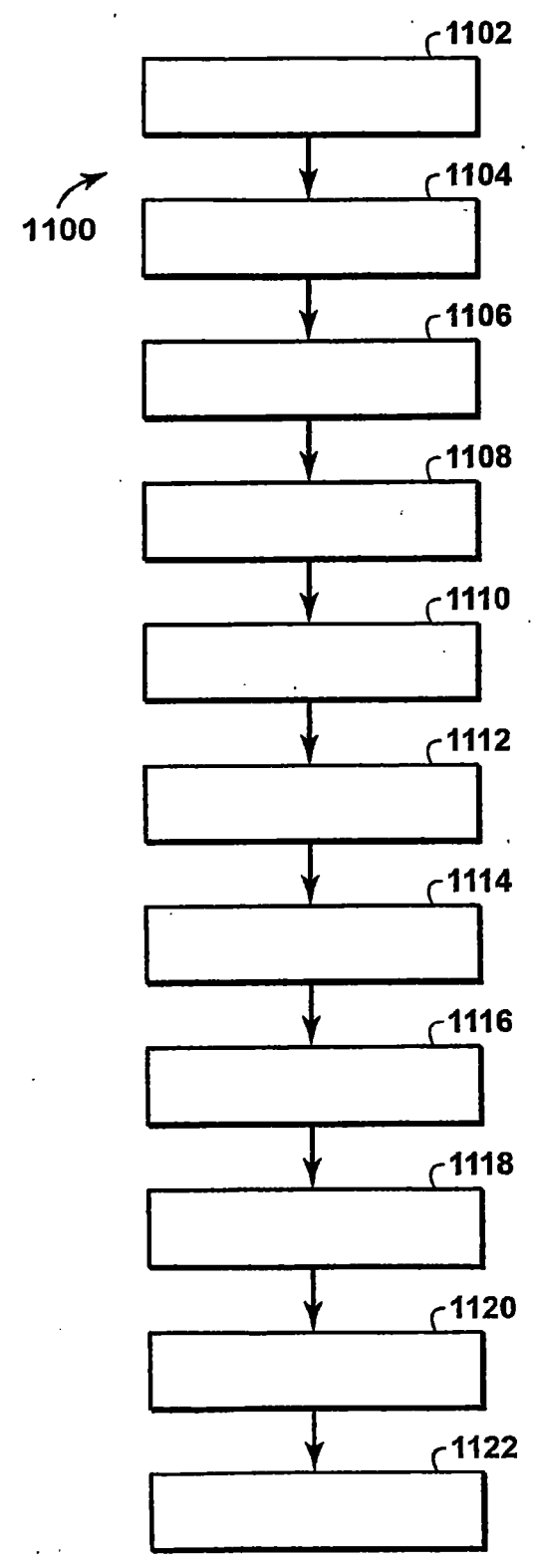


圖 11

【代表圖】

【本案指定代表圖】：第(1)圖。

【本代表圖之符號簡單說明】：

10：系統	12：LIN 流
14：LIN 供給系統	16：LIN 泵
18：加壓的 LIN 流	20：天然氣供給
22：第一熱交換器	24：天然氣流
26：第二熱交換器	27：汙染的氣態氮流(cGAN 流)
28：第一膨脹器	29：膨脹的 cGAN 流
30：溫室氣體移除單元	32：蒸餾柱
34：頂部流	36：溫室氣體產物流
38：頂部壓縮器	40：熱泵熱交換器
42：壓力降低裝置	43：部分地冷凝的頂部流
44：第一分離器	45：頂部產物流
46：柱回流流	48：底部泵
50：第二分離器	54：分離的溫室氣體產物流
56：柱再沸器蒸汽流	58：溫室氣體泵
60：第二膨脹器	62：第三膨脹器
64：第三熱交換器	66：GAN 排放
68：壓力降低裝置	70：LNG 流
72：控制器	

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：無

交換器中的溫度窄縮 (pinch)。根據本發明，冷凝器及再沸器的冷卻及加熱負載被交互交換，使得從再沸器可得的冷負載被使用來符合冷凝器所需要的熱負載。為了達到此目的，熱泵冷凝器和再沸器系統被使用來增加蒸餾柱頂部流 34 的壓力，使得壓縮的頂部流的溫度高於溫室氣體產物流 36 的溫度。確切地，熱泵冷凝器和再沸器系統包含將頂部流 34 壓縮及加熱的頂部壓縮器 38、將頂部流冷卻且將溫室氣體產物流加熱的熱泵熱交換器 40、以及將冷卻的頂部流的壓力降低並將其壓力降低的壓力降低裝置 42。壓力降低裝置 42 可為焦耳-湯姆森閥或渦輪膨脹器。在此時，頂部流已變成部分地冷凝的頂部流 43。如果想要的話，第一分離器 44 可被使用來將部分地冷凝的頂部流 43 分離，以形成頂部產物流 45 及柱回流流 46。頂部產物流 45 (亦即蒸餾柱 32 及第一分離器 44 兩者的頂部產物) 含有實質清除像是甲烷、乙烷等的溫室氣體的 GAN，且離開溫室氣體移除單元 30，以供如將在此說明的進一步熱交換操作及排放。由於柱回流流 46 可包括一些溫室氣體，柱回流流被傳送回蒸餾柱 32，以供進一步分離步驟。

[0040] 熱泵冷凝器和再沸器系統的其他部分可包括底部泵 48，以將溫室氣體產物流 36 在增加的壓力下輸送至熱泵熱交換器 40。在溫室氣體產物流 36 於熱泵熱交換器 40 中被加熱以後，溫室氣體產物流 36 現在被部分地汽化且可被傳送至第二分離器 50，第二分離器 50 將部分地

汽化的的溫室氣體產物流分離，以形成分離的溫室氣體產物流 54 及柱再沸器蒸汽流 56。溫室氣體泵 58 可被使用來將分離的溫室氣體產物流 54 在所需的壓力下輸送至系統 10 中的另一個地點。在圖 1 所示的實施例中，在天然氣流 24 已傳送通過第二熱交換器 26 以後，分離的溫室氣體產物流 54 被與天然氣流 24 混合而被包括於系統 10 的 LNG 產物流中。可包括一部分的 GAN 的柱再沸器蒸汽流 56 返回至蒸餾柱 32，以供進一步分離步驟。

[0041] 頂部產物流 45（亦即實質地淨化的 GAN）離開溫室氣體移除單元 30，且反覆地傳送通過第二熱交換器 26 及第二膨脹器 60、第三膨脹器 62，以進一步將天然氣流 24 冷卻。在圖 1 中，作用為高壓膨脹器（28）、中壓膨脹器（60）、及低壓膨脹器（62）之三個膨脹器被顯示，每一個膨脹器將分別地穿過它的氮流的壓力降低。在一個實施例中，第一膨脹器 28、第二膨脹器 60、及第三膨脹器 62 是渦輪膨脹器。膨脹器可為徑向流入式渦輪機（radial flow turbine）、部分進氣軸向流式渦輪機（partial admission axial flow turbine）、全部進氣軸向流式渦輪機、螺旋螺桿式渦輪機（helical screw turbine）、或類似的膨脹裝置。膨脹器可為分開的機器、或被組合成具有共同輸出的一個以上的機器。膨脹器可被設計來驅動發電機、壓縮器、泵、水制動器（water brake）、或其他類似的功率消耗裝置，以將能量從系統 10 移除。膨脹器可被使用來直接驅動（或經由齒輪箱或其他傳動裝置來驅

動) 系統 10 內所使用的泵、壓縮器、及其他機器。在一個實施例中，每一個膨脹器是膨脹器裝置，其中膨脹可藉由以並聯操作或串聯操作或並聯和串聯組合操作來運作之一個以上的個別膨脹器裝置而被實施。需要至少一個膨脹器或膨脹器處理，以用來經濟地操作系統 10，且一般而言，至少兩個膨脹器處理為較佳的。超過三個膨脹器處理亦可被使用於此系統中，以藉由可得的 LIN 供給而可能進一步改善冷凍效率。

[0042] 在頂部產物流 45 最後一次傳送通過第三膨脹器 62 及第二熱交換器 26 以後，頂部產物流 45 傳送通過將天然氣流 24 以額外時間冷卻的第三熱交換器 64。如先前所述為 GAN 之頂部產物流在於 GAN 排放 66 被排放至大氣、或是以其他方式處置。如果 GAN 被排放，GAN 排煙 (plume) 應該足夠地飄浮，以在排煙的任何顯著部分回到接近地面高度 (這可造成潛在有害的氧缺乏) 以前由大氣所廣泛地分散及稀釋。由於 GAN 可能具有實質零的相對濕度、以及僅稍微小於環境空氣的比重 (specific gravity)，實施例應確保 GAN 排放溫度大於當地環境溫度，以改善飄浮性 (buoyancy) 及促進 GAN 排煙的擴散性 (dispersal)。本排放及排放煙囪 (vent stack) 設計領域的技術人士知曉溫度以外的替代方式以改善排煙擴散，替代方式包括修改排放煙囪的高度及提供較高速煙囪排出，較高速煙囪排出例如可由作為煙囪設計的一部分之文氏管特徵所提供。

[0043] 天然氣傳送通過系統 10 的路徑現在將被說明。天然氣供給 20 在壓力下被接收、或被壓縮成所想要的壓力，然後流動通過並聯或串聯或並聯和串聯組合之各種不同的熱交換器，以由一個或多個冷凍劑所冷卻。被供給至系統 10 的天然氣壓力典型地係在 20 bara 與 100 bara 之間，其中上壓力一般地由熱交換設備的經濟選擇所限定。隨著熱交換器設計的未來進步，200 bara 以上的供給壓力可為可行的。在較佳的實施例中，天然氣供給壓力被選擇為大約 90 bara。本領域的技術人士知曉增加天然氣供給壓力一般地改善 LNG 液化程序內的熱傳有效性。如圖 1 中所示，來自天然氣供給 20 的天然氣首先流動通過第三熱交換器 64。第三熱交換器在天然氣進入作為系統 10 的主要熱交換器的第二熱交換器 26 以前將天然氣預冷。第三熱交換器亦將頂部產物流 45 中的 GAN 加熱，以接近天然氣流的進入溫度。如果想要的話，第三熱交換器 64 可被從系統 10 中刪除。

[0044] 在離開第一熱交換器以後，天然氣流 24 在第二熱交換器 26 中於壓力下被冷卻且被冷凝，其中天然氣流藉由頂部產物流 45 中的 GAN 的數次通過而被冷卻。天然氣流 24 被與分離的溫室氣體產物流 54 合併，分離的溫室氣體產物流 54 如先前說明為溫室氣體且自其實質移除所有的 GAN。天然氣流 24 然後傳送通過第一熱交換器 22，第一熱交換器 22 使用來自 LIN 供給系統 14 的 LIN 來冷卻天然氣流 24。如果想要的話，第一熱交換器 22 可

被從系統 10 中刪除。在此時，天然氣流 24 中的天然氣已經被實質完全地液化，以形成 LNG。冷凝的高壓 LNG 透過壓力降低裝置 68 被降低至接近環境溫度，壓力降低裝置 68 可包含單相或多相的液壓渦輪機、焦耳-湯姆森閥或類似的壓力降低裝置。圖 1 顯示液壓渦輪機的使用。離開壓力降低裝置 68 的 LNG 流 70 然後可被儲存於儲槽中、被輸送至陸路或水路的液體運輸工具、被輸送至適合的低溫管線或類似的運送工具，以最終將 LNG 輸送至市場地點。

[0045] 溫室氣體移除單元 30 的蒸餾柱 32 可被控制以符合用於頂部產物流 45 的溫室氣體含量以及溫室氣體產物流 36 及/或分離的溫室氣體產物流 54 的氮含量之所需規格。一般而言，膨脹的 cGAN 流 29 的溫度及汽化比例將影響相對的冷凝器負載及再沸器負載，其中膨脹的 cGAN 流 29 的較高汽化比例或較高溫度增加冷凝器負載，同時在相同的產物規格下減少再沸器負載。膨脹的 cGAN 流 29 的較低汽化比例或較低溫度具有相反效果。此外，熱泵熱交換器 40 內的熱傳率的增加（或減少）易於增加（或減少）影響產物規格的冷凝器負載及再沸器負載兩者。調整膨脹的 cGAN 流 29 的溫度及/或汽化比例及熱泵熱交換器 40 的熱傳率兩者之控制器 72 可被使用來平衡冷凝器負載及再沸器負載（利用調整由頂部壓縮器 38 所增加的額外能量）及蒸餾柱 32 的產物規格兩者。實際上，這些控制可藉由調整第一膨脹器 28（其可為膨脹器）的入口溫度及藉由控制柱頂部壓縮器 38 的壓力增加

而被實現。替代地，系統 10 的其他組件可被控制，以達成相同的結果。

[0046] 已說明本發明的一個實施例，額外方面現在將被說明。圖 2 繪示類似於圖 1 的系統 10 的 LNG 生產系統 200。LNG 生產系統 200 另包括天然氣壓縮器 202 及天然氣冷卻器 204，天然氣壓縮器 202 及天然氣冷卻器 204 被使用來在天然氣進入第三熱交換器 64、第二熱交換器 26、及第一熱交換器 22 以前將天然氣加壓及冷卻至最佳的壓力及溫度。天然氣壓縮器 202 及天然氣冷卻器 204 可為複數個個別壓縮器及冷卻器、或單一個壓縮器階段及冷卻器。天然氣壓縮器 202 可選自本領域的技術人士一般所知的壓縮器類型，其包括離心式、軸向式、螺桿式、及往復式壓縮器。天然氣冷卻器 204 可選自本領域的技術人士一般所知的冷卻器類型，其包括空氣鰭片式、套管式、殼管式、板框式 (plate and frame)、螺旋纏繞式、及印刷電路式熱交換器。天然氣壓縮器 202 及天然氣冷卻器 204 後面的天然氣供給壓力應類似於以上所述的範圍 (例如，20 至 100 bara，且隨著熱交換器設計進步而高至 200 bara 以上)。

[0047] 圖 3 繪示類似於 LNG 生產系統 200 的 LNG 生產系統 300。LNG 生產系統 300 在天然氣壓縮器 202 及天然氣冷卻器 204 後面增加天然氣膨脹器 302。天然氣膨脹器 302 可為像是渦輪膨脹器的任何類型的膨脹器、或像是 J-T 閥的任何類型的壓力降低裝置。在 LNG 生產系統

[0051] 圖 7 描繪類似於 LNG 生產系統 10 的 LNG 生產系統 700，其中分離的溫室氣體產物流 54 的另外使用被顯示。並非如圖 1 所示將分離的溫室氣體產物流 54 與天然氣體流 24 混合，在分離的溫室氣體產物流 54 於溫室氣體泵 58 中以泵加壓至所需的壓力且被透過熱交換器中的一個或更多個再汽化以後，分離的溫室氣體產物流 54 可被使用作為燃料氣體供給 702。作為一個範例，圖 7 顯示傳送通過第三熱交換器 64 之分離的溫室氣體產物流 54。分離的溫室氣體產物流的其他使用是可能的，且為本領域的技術人士所一般地知曉。

[0052] 圖 8 描繪類似於 LNG 生產系統 10、200、400 及 600 的 LNG 生產系統 800。在 LNG 生產系統 800 中，頂部產物流 45 中的 GAN 的非常乾燥組成被使用來實現 LNG 生產系統 800 內的進一步冷卻。在頂部產物流 45 如圖 8 中所示已被傳送通過第三熱交換器 64 以後，藉由水 802 至頂部產物流 45 的添加及飽和，頂部產物流 45 中的 GAN 的濕溫 (psychometric) 冷卻能降低該流的溫度至水的冰點的攝氏幾度內、或是大約攝氏 2 至 5 度。具有較低溫的現在濕的或飽和的 GAN 流 804 可被再導流通過第三熱交換器 64 (或其他適合的熱交換器)，以進一步將進來的天然氣流預冷。本領域的技術人士將知曉許多技術係可得的，以實現此濕溫冷卻，此等技術包括將水經由噴霧或其他噴嘴噴灑至流動的 GAN 流中、或是將 GAN 及水傳送通過塔、柱或似冷卻塔的裝置內之盤、包裝材料或其他

熱質 (heat and mass) 傳遞裝置。替代地，冷卻水或另一熱傳流體可經由這樣的濕溫冷卻藉由將非常乾燥的 GAN 傳送通過似冷卻塔的裝置而進一步被冷卻。此進一步冷卻的冷卻水然後可被使用來將 LNG 生產系統 800 內的其他流預冷，以提升可得的 LIN 供給的有效性。最後，添加水蒸氣至除此以外非常乾燥的氣體氮會降低 GAN 的比重，且如果 GAN 在 806 處被排放，會改善 GAN 排煙飄浮性及擴散性。

[0053] 所包括的圖各描繪作為 LNG 生產系統 10、200、300、400、500、600、700、800 的一部分之溫室氣體移除單元 30，其中溫室氣體移除單元被描繪成基於蒸餾技術及方法。替代系統及方法可被使用來移除 LIN 供給系統 14 中的溫室氣體污染物。這些替代方法未被詳細地顯示，但可包括：包括變壓式 (pressure-swing)、變溫式 (temperature-swing) 或變壓變溫組合式吸附之吸附處理；像是藉由活化的碳床之體吸附 (bulk adsorption) 或吸附；或觸媒處理。

[0054] 所揭示的實施例中的熱交換器已被說明成主要由源自 LIN 供給系統 14 的 LIN、GAN、或其組合所冷卻。然而，有可能的是，藉由運用不具有與 LNG 生產系統 10 中的天然氣或氮的流體連接之輔助冷凍系統來增加任何已揭示的熱交換器的冷卻能力。輔助冷卻系統所使用的冷凍劑可包含任何適合的碳氫氣體（例如，像是甲烷、乙烷、乙烯或丙烷等的烯烴或烷烴）、惰性氣體（例如，

氮、氦、氬等)、或本領域的技術人士所知的其他冷凍劑。圖 9 描繪輔助冷凍系統 900, 其藉由使用氬流 902 作為冷凍劑而將額外冷卻能力提供給溫室氣體移除單元 30 的熱泵熱交換器 40。輔助冷凍系統 900 包括將氬流 902 壓縮至適合的壓力之輔助壓縮器 904。氬流 902 然後傳送通過輔助熱交換器, 其圖 9 中顯示為冷卻器 906。氬流 902 然後傳送通過像是焦耳-湯姆森閥或膨脹器的輔助壓力降低裝置 908。氬流 902 然後傳送通過熱泵熱交換器 40, 以在蒸餾柱頂部流 34 中輔加 GAN 的冷卻成效, 以將溫室氣體產物流 36 中的溫室流體冷卻。氬流 902 然後如先前所說明再循環通過輔助壓縮器 904。

[0055] 類似於輔助冷凍系統 900 的輔助冷凍系統可被使用, 以增加在此所揭示的像是第一熱交換器 22、第二熱交換器 26、第三熱交換器 64、及/或進給-流出熱交換器 606 的其他熱交換系統的冷卻有效性。此外, 雖然輔助冷凍系統 900 的冷凍劑未被流體地連接至 LNG 生產系統 10, 在一些實施例中, 冷凍劑可源自 LNG 生產系統的天然氣流及/或氬流。此外, 輔助冷凍系統可與 LNG 生產系統 10 的氣態流及/或液態流(像是 LIN 流 12、天然氣流 24、cGAN 流 27、或溫室氣體產物流 36)交換熱(或冷)。

[0056] 圖 10 繪示根據所揭示的方面的生產 LNG 的方法 1000。在方塊 1002 處, 天然氣流被從天然氣的供給提供。在方塊 1004 處, 像是 LIN 流的冷凍劑流被從冷凍

劑的供給提供。在方塊 1006 處，天然氣流及液化氫流被通過第一熱交換器，第一熱交換器在冷凍劑流與天然氣流之間交換熱，以將冷凍劑流至少部分地汽化及將天然氣流至少部分地冷凝。在方塊 1008 處，天然氣流在天然氣壓縮器中被壓縮至至少 135 bara 的壓力，以形成壓縮的天然氣流。在方塊 1010 處，壓縮的天然氣流在天然氣冷卻器中被冷卻。在由天然氣冷卻器所冷卻以後，在方塊 1012 處，壓縮的天然氣流在天然氣膨脹器中被膨脹至小於 200 bara 但不大於天然氣壓縮器壓縮天然氣流的壓力之壓力。在方塊 1014 處，來自天然氣冷卻器的天然氣被供給至至少一個熱交換器，以在其中被至少部分地冷凝。

[0057] 圖 11 繪示移除被使用來將天然氣流液化的液態氫流中的溫室氣體污染物的方法 1100。在方塊 1102 處，天然氣流在天然氣壓縮器中被壓縮至至少 135 bara 的壓力，以形成壓縮的天然氣流。在方塊 1104 處，壓縮的天然氣流在天然氣冷卻器中被冷卻。在由天然氣冷卻器所冷卻以後，在方塊 1106 處，壓縮的天然氣流在天然氣膨脹器中被膨脹至小於 200 bara 但不大於天然氣壓縮器壓縮天然氣流的壓力之壓力。在方塊 1108 處，天然氣流及液化的氫流被通過第一熱交換器，第一熱交換器在冷凍劑流與天然氣流之間交換熱，以將冷凍劑流至少部分地汽化及將天然氣流至少部分地冷凝。液化的氫流被循環通過第一熱交換器至少一次，且較佳地為至少三次。在方塊 1110 處，至少部分地汽化的氫流的壓力可被降低，較佳地為藉

- 24：天然氣流
- 26：第二熱交換器
- 27：汙染的氣態氮流（cGAN 流）
- 28：第一膨脹器
- 29：膨脹的 cGAN 流
- 30：溫室氣體移除單元
- 32：蒸餾柱
- 34：頂部流
- 36：溫室氣體產物流
- 38：頂部壓縮器
- 40：熱泵熱交換器
- 42：壓力降低裝置
- 43：部分地冷凝的頂部流
- 44：第一分離器
- 45：頂部產物流
- 46：柱回流流
- 48：底部泵
- 50：第二分離器
- 54：分離的溫室氣體產物流
- 56：柱再沸器蒸汽流
- 58：溫室氣體泵
- 60：第二膨脹器
- 62：第三膨脹器
- 64：第三熱交換器

- 66 : GAN 排放
- 68 : 壓力降低裝置
- 70 : LNG 流
- 72 : 控制器
- 200 : LNG 生產系統
- 202 : 天然氣壓縮器
- 204 : 天然氣冷卻器
- 300 : LNG 生產系統
- 302 : 天然氣膨脹器
- 400 : LNG 生產系統
- 500 : LNG 生產系統
- 600 : LNG 生產系統
- 602 : 氮壓縮器
- 604 : 氮冷卻器
- 606 : 進給-流出熱交換器
- 700 : LNG 生產系統
- 702 : 燃料氣體供給
- 800 : LNG 生產系統
- 802 : 水
- 804 : GAN 流
- 806 : GAN 排放
- 900 : 輔助冷凍系統
- 902 : 氫流
- 904 : 輔助壓縮器

申請專利範圍

1. 一種液化天然氣生產系統，該液化天然氣生產系統包含：

來自天然氣的供給的天然氣流；

來自冷凍劑供給的冷凍劑流；

至少一個熱交換器，其在該冷凍劑流與該天然氣流之間交換熱，以將該冷凍劑流至少部分地汽化及將該天然氣流至少部分地冷凝；

天然氣壓縮器，其將該天然氣流壓縮至至少 135 bara 的壓力，以形成壓縮的天然氣流；

天然氣冷卻器，其在該天然氣流由該天然氣壓縮器所壓縮以後將該壓縮的天然氣流冷卻，其中該天然氣冷卻器被建構成將該壓縮的天然氣流冷卻至接近環境溫度；及

天然氣膨脹器，其在該天然氣流由該天然氣冷卻器所冷卻以後將該壓縮的天然氣流膨脹至小於 200 bara 但不大於該天然氣壓縮器壓縮該天然氣流的該壓力之壓力，

其中該天然氣膨脹器被連接至該至少一個熱交換器，以將天然氣供給至該至少一個熱交換器。

2. 如申請專利範圍第 1 項所述的液化天然氣生產系統，其中該天然氣壓縮器將該天然氣流壓縮至大於 200 bara 的壓力。

3. 如申請專利範圍第 1 項所述的液化天然氣生產系統，其中該天然氣膨脹器將該壓縮的天然氣流膨脹至小於 135 bara 的壓力。

4. 如申請專利範圍第 1 項所述的液化天然氣生產系統，其中該至少一個熱交換器包含第一熱交換器，且另包含第二熱交換器，該第二熱交換器在該天然氣流於該天然氣壓縮器中被壓縮以前冷卻該天然氣流。

5. 如申請專利範圍第 4 項所述的液化天然氣生產系統，其中該冷凍劑流被使用來在該第二熱交換器中冷卻該天然氣流。

6. 如申請專利範圍第 1 項所述的液化天然氣生產系統，其中該至少一個熱交換器包含第一熱交換器，且另包含第二熱交換器，該第二熱交換器在該壓縮的天然氣流於該天然氣冷卻器中被冷卻以前冷卻該壓縮的天然氣流。

7. 如申請專利範圍第 1 項所述的液化天然氣生產系統，其中該冷凍劑流包含液化的氮流，且其中該至少一個熱交換器將該氮流至少部分地汽化。

8. 如申請專利範圍第 7 項所述的液化天然氣生產系統，另包含溫室氣體移除單元，其被建構成將溫室氣體從該至少部分地汽化的氮流移除。

9. 如申請專利範圍第 8 項所述的液化天然氣生產系統，其中該溫室氣體移除單元包含具有熱泵冷凝器和再沸器系統的蒸餾柱，且另包含降低該至少部分地汽化的氮流的壓力之至少一個膨脹器處理，其中該蒸餾柱的入口流是該至少一個膨脹器處理的第一個的出口流。

10. 如申請專利範圍第 9 項所述的液化天然氣生產系統，另包含熱泵系統，該至少部分地汽化的氮流在流動通

過該至少一個膨脹器處理的第一個以後流動通過該熱泵系統。

11. 如申請專利範圍第 10 項所述的液化天然氣生產系統，其中該熱泵系統包括熱泵壓縮器、熱泵冷卻器、及進給-流出熱交換器。

12. 如申請專利範圍第 9 項所述的液化天然氣生產系統，另包含濕溫熱交換器，該濕溫熱交換器使用該至少部分地汽化的氮流，以在該天然氣流進入該至少一個熱交換器以前預冷該天然氣流。

13. 一種生產液化天然氣（LNG）的方法，該生產液化天然氣（LNG）的方法包含：

提供來自天然氣的供給的天然氣流；

提供來自冷凍劑供給的冷凍劑流；

將該天然氣流及該液化的氮流傳送通過第一熱交換器，該第一熱交換器在該冷凍劑流與該天然氣流之間交換熱，以將該冷凍劑流至少部分地汽化及將該天然氣流至少部分地冷凝；

將該天然氣流在天然氣壓縮器中壓縮至至少 135 bara 的壓力，以形成壓縮的天然氣流；

在該壓縮的天然氣流由該天然氣壓縮器所壓縮以後，將該壓縮的天然氣流在天然氣冷卻器中冷卻，其中該天然氣冷卻器將該壓縮的天然氣流冷卻至接近環境溫度；

在該壓縮的天然氣流由該天然氣冷卻器所冷卻以後，將該壓縮的天然氣流在天然氣膨脹器中膨脹至小於 200

bara 但不大於該天然氣壓縮器壓縮該天然氣流的該壓力之壓力；及

將天然氣從該天然氣冷卻器供給至該至少一個熱交換器，以在該至少一個熱交換器中被部分地冷凝。

14. 如申請專利範圍第 13 項所述的生產液化天然氣 (LNG) 的方法，其中該天然氣壓縮器將該天然氣流壓縮至大於 200 bara 的壓力。

15. 如申請專利範圍第 13 項所述的生產液化天然氣 (LNG) 的方法，其中該天然氣膨脹器將該壓縮的天然氣流膨脹至小於 135 bara 的壓力。

16. 如申請專利範圍第 13 項所述的生產液化天然氣 (LNG) 的方法，其中該至少一熱交換器包含第一熱交換器，該生產液化天然氣 (LNG) 的方法另包含：在該天然氣流於該天然氣壓縮器中被壓縮以前，將該天然氣流在第二熱交換器中冷卻。

17. 如申請專利範圍第 16 項所述的生產液化天然氣 (LNG) 的方法，其中該冷凍劑流被使用來將該天然氣流在該第二熱交換器中冷卻。

18. 如申請專利範圍第 13 項所述的生產液化天然氣 (LNG) 的方法，其中該至少一熱交換器包含第一熱交換器，該生產液化天然氣 (LNG) 的方法另包含：在該壓縮的天然氣流於該天然氣冷卻器中被冷卻以前，將該壓縮的天然氣流在第二熱交換器中冷卻。

19. 如申請專利範圍第 13 項所述的生產液化天然氣

(LNG) 的方法，其中該冷凍劑流包含液化的氮流，且其中該至少一個熱交換器將該氮流至少部分地汽化。

20. 如申請專利範圍第 19 項所述的生產液化天然氣 (LNG) 的方法，另包含：藉由使用溫室氣體移除單元來將溫室氣體從該至少部分地汽化的氮流移除。

21. 如申請專利範圍第 20 項所述的生產液化天然氣 (LNG) 的方法，其中該溫室氣體移除單元包含蒸餾柱及熱泵冷凝器和再沸器系統，且另包含：

增加該蒸餾柱的頂部流的壓力及冷凝溫度；

將該蒸餾柱的該頂部流及該蒸餾柱的底部流交互交換，以影響該蒸餾柱的頂部冷凝器負載及底部再沸器負載兩者；

在該交互交換的步驟以後，降低該蒸餾柱的該頂部流的壓力，以產生該蒸餾柱的降壓的頂部流；及

將該蒸餾柱的該降壓的頂部流分離，以產生第一分離器頂部流，其中該第一分離器頂部流是離開該溫室氣體移除單元而使溫室氣體被從其移除的氣態氮。

22. 如申請專利範圍第 21 項所述的生產液化天然氣 (LNG) 的方法，另包含：在該至少部分地汽化的氮流流動通過該至少一個膨脹器處理的第一個以後，將該至少部分地汽化的氮流流動通過熱泵系統。

23. 一種移除被使用來將天然氣流液化的液態的氮流中的溫室氣體污染物的方法，包含：

將該天然氣流在天然氣壓縮器中壓縮至至少 135 bara

的壓力，以形成壓縮的天然氣流；

在該壓縮的天然氣流由該天然氣壓縮器所壓縮以後，將該壓縮的天然氣流在天然氣冷卻器中冷卻，其中該天然氣冷卻器被建構成將該壓縮的天然氣流冷卻至接近環境溫度；

在該壓縮的天然氣流由該天然氣冷卻器所冷卻以後，將該壓縮的天然氣流在天然氣膨脹器中膨脹至小於 200 bara 但不大於該天然氣壓縮器壓縮該天然氣流的該壓力之壓力；

將該天然氣流及該液化的氮流傳送通過第一熱交換器，該第一熱交換器在該液化的氮流與該天然氣流之間交換熱，以將該液化的氮流至少部分地汽化及將該天然氣流至少部分地冷凝，其中該液化的氮流被循環通過該第一熱交換器至少三次；

藉由使用至少一個膨脹器處理，將該至少部分地汽化的氮流的壓力降低；

提供溫室氣體移除單元，該溫室氣體移除單元包括蒸餾柱及熱泵冷凝器和再沸器系統；

增加該蒸餾柱的頂部流的壓力及冷凝溫度；

將該蒸餾柱的該頂部流及該蒸餾柱的底部流交互交換，以影響該蒸餾柱的頂部冷凝器負載及底部再沸器負載兩者；

在交互交換步驟以後，降低該蒸餾柱的該頂部流的壓力，以產生該蒸餾柱的降壓的頂部流；

將該蒸餾柱的該降壓的頂部流分離，以產生第一分離器頂部流，其中該第一分離器頂部流是離開該溫室氣體移除單元而使溫室氣體被從其移除的氣態氮；及

將該第一分離器頂部流排放至大氣。