



(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 I691644 B

(45)公告日：中華民國 109 (2020) 年 04 月 21 日

(21)申請案號：108108972

(22)申請日：中華民國 104 (2015) 年 07 月 03 日

(51)Int. Cl. : F02C3/34 (2006.01)

F02C6/18 (2006.01)

F02G5/02 (2006.01)

(30)優先權：2014/07/08 美國

62/021,839

(71)申請人：美商八河資本有限公司 (美國) 8 RIVERS CAPITAL, LLC (US)

美國

(72)發明人：阿拉姆 羅德尼 約翰 ALLAM, RODNEY JOHN (GB)；佛利斯特 布魯克 艾倫 FORREST, BROCK ALAN (GB)；菲特維德 傑瑞米 艾朗 FETVEDT, JEREMY ERON (GB)

(74)代理人：蔡清福

(56)參考文獻：

TW 201303144A

TW 201412377A

WO 2010/043859A1

WO 2012/131465A2

審查人員：謝育庭

申請專利範圍項數：14 項 圖式數：3 共 30 頁

(54)名稱

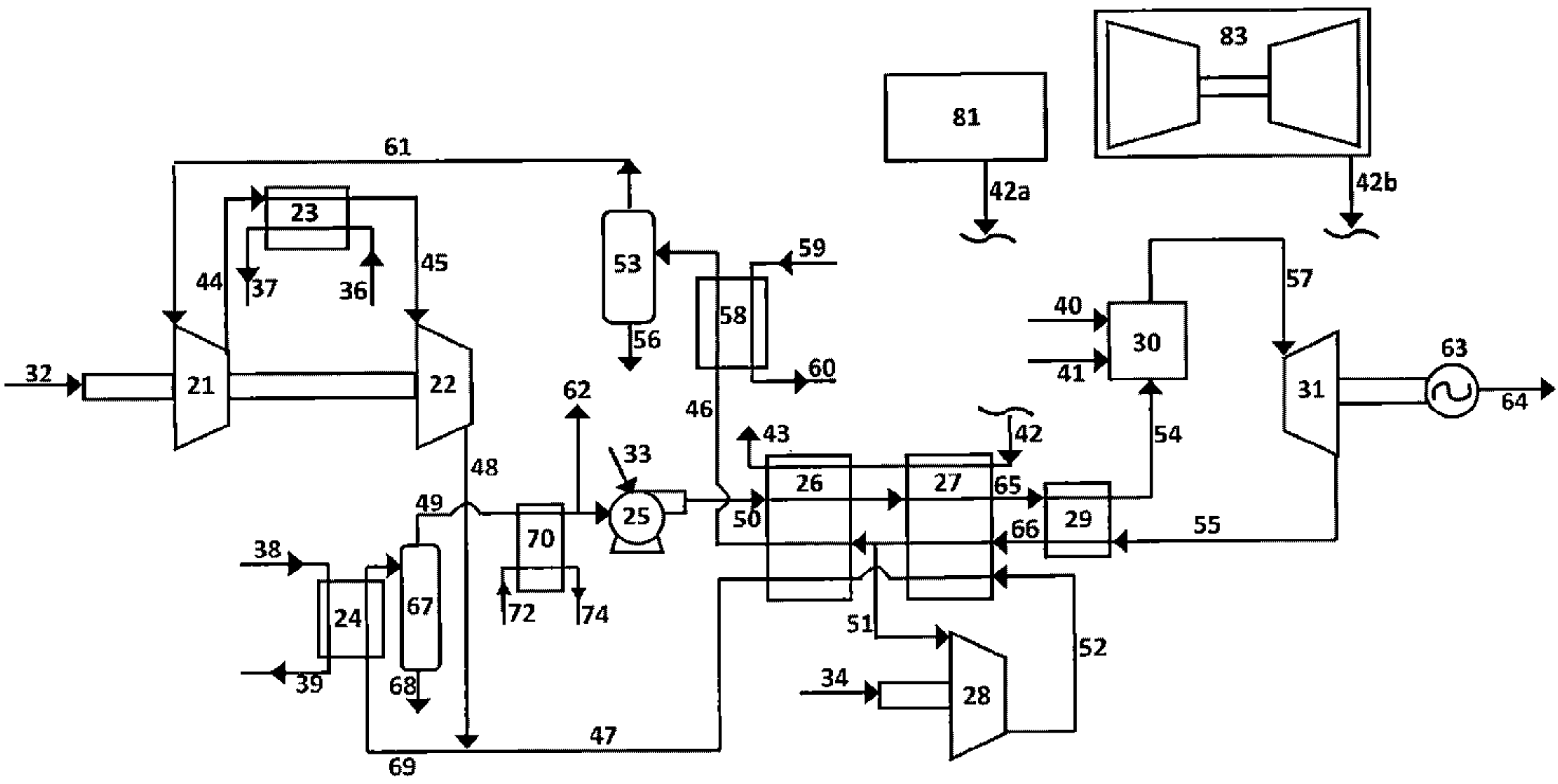
具改良效率之功率生產方法及系統

(57)摘要

本揭露內容係關於一種主要地使用 CO₂ 作為工作流體來提供功率產出之系統及方法。特別地，本揭露內容提供以來自 CO₂ 壓縮器之一部分壓縮熱作為提升功率產出系統及方法總效率所需之附加加熱之用途。

The present disclosure relates to systems and methods that provide power generation using predominantly CO₂ as a working fluid. In particular, the present disclosure provides for the use of a portion of the heat of compression from a CO₂ compressor as the additive heating necessary to increase the overall efficiency of a power production system and method.

指定代表圖：



第 3 圖

符號簡單說明：

21 . . . 第一段壓縮器

22 . . . 第二段壓縮器

23 . . . 中間冷卻器

24、58 . . . 水冷卻熱交換器

25 . . . 多段離心泵

26、27、29 . . . 節熱器熱交換器

28 . . . 絕熱壓縮器

30 . . . 燃燒器

31 . . . 動力渦輪機

32、34 . . . 壓縮器功率輸入

33 . . . 泵電功率輸入

36、38、59、72 . . . 冷卻水入口流

37、39、60、74 . . . 冷卻水出口流

40 . . . 天然氣流

41 . . . 99.5%O₂ 流

42、42b、43、45、

46、47、48、49、

50、65、66、

69 . . . 流

42a . . . 主要空氣流動

44 . . . 排放流

51 . . . 一部分冷卻渦輪機排氣流

52 . . . 已壓縮且加熱流

53 . . . 相分離器槽

- 54 . . . 回收再利用
CO₂ 流
- 55 . . . 渦輪機排氣
流
- 56 . . . 冷凝水流
- 57 . . . 燃燒產物
- 58 . . . 水冷熱交換
器
- 61 . . . 頂部 CO₂ 氣
體流
- 62 . . . 最終產物
CO₂ 流
- 63 . . . 發電機
- 64 . . . 元件
- 67 . . . 相分離器
- 68 . . . 冷凝水
- 70 . . . 熱交換器
- 81 . . . 低溫空氣分
離設備
- 83 . . . 氣渦輪機

I691644

【發明摘要】

【中文發明名稱】具改良效率之功率生產方法及系統

【英文發明名稱】Method And System For Power Production With Improved Efficiency

【中文】

本揭露內容係關於一種主要地使用CO₂作為工作流體來提供功率產出之系統及方法。特別地，本揭露內容提供以來自CO₂壓縮器之一部分壓縮熱作為提升功率產出系統及方法總效率所需之附加加熱之用途。

【英文】

The present disclosure relates to systems and methods that provide power generation using predominantly CO₂ as a working fluid. In particular, the present disclosure provides for the use of a portion of the heat of compression from a CO₂ compressor as the additive heating necessary to increase the overall efficiency of a power production system and method.

【指定代表圖】 第3圖

【代表圖之符號簡單說明】

21	第一段壓縮器	22	第二段壓縮器
23	中間冷卻器	24、58	水冷卻熱交換器
25	多段離心泵	26、27、29	節熱器熱交換器
28	絕熱壓縮器	30	燃燒器
31	動力渦輪機	32、34	壓縮器功率輸入
33	泵電功率輸入	36、38、59、72	冷卻水入口流

37、39、60、74	冷卻水出口流	40	天然氣流
41	99.5%O ₂ 流		
42、42b、43、45、46、47、48、49、50、65、66、69			流
42a	主要空氣流動	44	排放流
51	一部分冷卻渦輪機排氣流	52	已壓縮且加熱流
53	相分離器槽	54	回收再利用CO ₂ 流
55	渦輪機排氣流	56	冷凝水流
57	燃燒產物	58	水冷熱交換器
61	頂部CO ₂ 氣體流	62	最終產物CO ₂ 流
63	發電機	64	元件
67	相分離器	68	冷凝水
70	熱交換器	81	低溫空氣分離設備
83	氣渦輪機		

【發明說明書】

【中文發明名稱】 具改良效率之功率生產方法及系統

【英文發明名稱】 Method And System For Power Production With Improved Efficiency

【技術領域】

【0001】 本揭露之標的物係關於一種生成譬如電力之功率之系統及方法，該系統及方法係經由在熱交換器中使用其他熱源附加加熱至少部分之回收再利用 CO₂(二氧化碳)流，而達成期望效率之操作。特別地，可至少部分地由壓縮至少一部分回收再利用 CO₂ 流，導出來自該其他源之熱。

【先前技術】

【0002】 由燃料燃燒產出功率之習知裝置典型地欠缺同時達成高效率功率產出與碳捕獲(譬如螯合作用或其他之用)的能力。高效率功率產出及碳捕獲領域中之一發表文獻(授予 Allam 等之美國專利案第 8,596,075 號)，提供在使用 CO₂ 作為工作流體之閉路循環燃料系統中的期望效率。此種系統特別得利於在復熱式熱交換器中加熱回收再利用 CO₂ 之認知效用，該復熱式熱交換器係使用來自熱渦輪機排氣之熱，並且加入來自除該渦輪機排氣以外之一源的其他熱。儘管有此類進展，然本技藝中又愈來愈需要一種可提供提升效率及 CO₂、及其他燃料與燃燒衍生雜質捕獲之改良式功率產出系統及方法。

【發明內容】

【0003】 本揭露內容提供一種具改良效率之功率產出系統及方法。該等系統及方法可利用 CO₂ 作為工作流體，且可被配置成，捕獲 CO₂、及其他燃料與燃燒衍生雜質。已確認本改良係關於在升高壓力、氧燃料燃燒系統及方法中，將低溫度位準加熱導入回收再利用 CO₂ 流，該系統及方法亦利用回收再利用 CO₂ 流中、來自熱渦輪機排氣之熱所作的復熱式加熱。此處可以「附加加熱」來描述該低溫度位準加熱。如此，請了解到，該附加加熱係來自除渦輪機排氣以外

之一源的低溫度位準熱。換言之，該附加加熱並非回收自熱渦輪機排氣之熱。本揭露內容特別地係確認一種用於在閉路循環或部分閉路循環氧燃料燃燒系統獲取且傳遞該附加加熱之裝置，及一種提供功率產出輸出超過僅來自燃料之熱的熱容量、且因此提供較優效率提升的方法。

【0004】 在一些具體實施例中，本揭露內容關於一種用於生成譬如電力之功率的系統及方法，該等系統及方法係操作於期望之效率下，其可經由在存有回收再利用 CO_2 流之情況下，在升高之壓力下以氧氣燃燒一燃料(譬如碳或碳質燃料)、接著經由功率產出渦輪機膨脹產出氣體及在復熱式熱交換器中冷卻渦輪機排氣而達成，其中該復熱式熱交換器可加熱先前已壓縮之回收再利用 CO_2 流。在使用附加加熱之熱交換器中，藉由至少部分回收再利用 CO_2 流之附加加熱，可獲得改良之功率產出效率，該附加加熱可譬如為，至少部分地由至少一部分回收再利用 CO_2 流壓縮所衍生之熱。

【0005】 在各具體實施例中，可利用閉路循環或部分閉路循環系統(其中利用 CO_2 作為工作流體)來達成功率產出。在此種系統中，一化石燃料(譬如天然氣)或一化石燃料衍生燃料(譬如煤或其他固體碳質燃料衍生合成煤氣)係在燃燒器中以大致純氧氣作為氧化劑而完全燃燒，以提供主要為 CO_2 、 H_2O 、過量 O_2 之氧化流，及燃料中氧化成分或氧化劑衍生之大量雜質，如 SO_2 、 NO_x 、 Hg 、及 HCl 。內含不燃性灰分之固體化石燃料，如煤、褐煤、或石油焦可在單段或多段系統中藉由部分氧化而轉換成氣態燃料。此系統可譬如包括一部分氧反應器。另一選擇，譬如此系統可包括一部分氧化反應器、及一灰分與揮發性無機成分移除系統。此等系統尚包括在功率產出系統之燃燒器中以氧氣燃燒燃料氣體。一預熱回收再利用 CO_2 流係在燃燒器中與燃料氣體燃燒衍生之燃燒產物相混合。可使用能適應在不同於此中描述條件下操作之任何燃燒器，且可藉由任何裝置將回收再利用 CO_2 流導至燃燒器中以由該燃燒進一步加熱，且倘必要時進行驟冷卻及因此控制離開流之溫度。在一些具體實施例中，僅作為範例說明者為，POX 反應器與燃燒器其中之一或二者全部可利用圍繞反應或燃燒空間之蒸散冷卻壁，且已預熱回收再利用 CO_2 流可通過該壁以使冷卻該壁、且驟冷卻及

因此控制離開流之溫度二者皆進行。蒸散流動可促進回收再利用 CO₂ 與熱的已燃燒燃料氣體流之間良好混合。然而，亦可使用其他型式之燃燒器，且本揭露內容並非以使用蒸散冷卻燃燒器為限。儘管以上舉例說明某些特定燃料型式，然應了解可在燃燒器中利用其他燃料(譬如，氫氣)。同樣地，可將使用附加加熱所致之優點應用至，部分或全部利用非燃燒性加熱之系統中。例如，使用太陽能系統，如美國專利公開案第 2013/0118145 號中所述者，亦已藉由參考方式將該案併入本案而包含於本案例中。

【0006】 脫離燃燒器之已結合燃料產物與已預熱回收再利用 CO₂ 係處於功率產出渦輪機入口所需求之溫度。CO₂ 功率循環在一些具體實施例中，可使用 5 至 12 之跨渦輪機壓力比，然在其他具體實施例中，可使用較大之壓力比(譬如，至少 20)，例如當利用複數個膨脹渦輪機時。在一些具體實施例中，可使用大約 100 巴(bar)(10MPa)至大約 500bar(50MPa)之渦輪機入口壓力。供應燃燒器之氧氣可為大致純 O₂、或以 CO₂ 稀釋之 O₂。在一些具體實施例中，混合 O₂ 與 CO₂ 對於燃燒反應之絕熱火焰溫度的控制是有用的。在一非限制用範例中，已結合 O₂/CO₂ 之流中的 O₂ 莫耳濃度可為大約 10%至大約 50%、大約 15%至大約 40%、或大約 20%至大約 30%。可在節熱式熱交換器中冷卻熱渦輪機排氣，其接著預熱高壓 CO₂ 回收再利用流。

【0007】 系統之有效率操作關鍵性地取決於熱交換之最佳化。為達成高效率，可將大量附加加熱在熱交換器冷端，譬如大約 100°C 至大約 400°C 之溫度位準下，加至高壓回收再利用流中。此低溫度位準熱在一些具體實施例中，可自低溫氧氣設備之空氣壓縮器導出，此等壓縮器可完全或部分地，在高壓力比絕熱模式下之壓力範圍操作，以使得已壓縮空氣在階段排放之溫度中升高至大約 100°C 至大約 400°C 範圍中之一點，且以使得已壓縮氣體流至已加壓回收再利用 CO₂ 處理流之熱傳輕易地達成。例如，可對立於冷卻已壓縮空氣，將取自節熱器熱交換器中高壓 CO₂ 回收再利用流體之一側流的流體加熱至一大約 100°C 至大約 400°C 之需求溫度。美國專利案第 8,596,075 號、美國專利案第 8,776,532 號、美國專利案第 8,986,002 號、美國專利案第 9,068,743 號、美國專利公開案第

2010/0300063 號、美國專利公開案第 2012/0067054 號、美國專利公開案第 2012/0237881 號、及美國專利公開案第 2013/0104525 號中已說明用於此氧燃料燃燒、低位準熱產出、及低位準熱傳之系統及方法，已藉參考方式將此等案完全併入本案中。

【0008】 本揭露內容提供另外一種用於將熱在大約 100°C 至大約 400°C 溫度下導至回收再利用 CO₂ 高壓流中、且因此提升節熱器熱交換器之效用及增加功率產出系統總體效率的裝置，以及具體實現本熱傳裝置之方法。特別地，本揭露內容提供來自回收再利用 CO₂ 壓縮器之一部分壓縮熱作為提升功率產出系統及方法總體效率所需之附加加熱的用途。

【0009】 先前已提議將使用高壓 CO₂ 作為工作流體之功率產出循環的效能最佳化。例如，已藉由參考方式併入本案中之 Bryant 等(「簡易及再壓縮超臨界 CO₂ 循環之分析與比較」，2011 年 5 月在美國科羅拉多州波德市之超臨界 CO₂ 功率循環研討會中提報)說明布雷登(Brayton)循環，該循環使用以 CO₂ 作為工作流體之復熱器熱交換器來生成功率。該報告依操作參數定義二循環之效率，且顯示第二循環可提供較第一、簡易循環者高之較高效率時所處的條件。

【0010】 第 1 圖中顯示 Bryant 等之第一、簡易循環。其中，將已在近似絕熱、無中間冷卻之壓縮器 1 中壓縮之管線 7 中熱 CO₂ 在復熱器熱交換器 4 中作進一步加熱。熱 CO₂ 接著將通過管線 8 而至加熱器 3，其將在該加熱器中以氧氣 13 燃燒燃料 14、或由某些外部加熱裝置直接加熱。已進一步加熱之 CO₂ 接著將通過管線 9 而至功率產出渦輪機 2 中，其在該功率產出渦輪機中膨脹而達產出軸功(由箭頭 15 所示)之一較低壓力。渦輪機排氣流 10 通行至復熱器熱交換器 4，其在該熱交換器冷卻而釋放熱至高壓回收再利用流。接著在預冷卻器 5 中冷卻該渦輪機排氣，其中將熱棄至冷卻流 11 中，其將在最後於管線 6 中再次進入壓縮器 1 前，經由管線 12 離開。

【0011】 第 2 圖顯示 Bryant 之第二循環，該第二循環與第 1 圖所示之循環相同，除增加第二壓縮階段 16 以外，其中在預冷卻器 5 前方之復熱器熱交換器 4a 出口處脫離低壓迴路的部分低壓渦輪機排氣流 17 於其熱狀態下在壓縮器 16 中

經壓縮，而經由管線 18 離開。該流與在其相對應溫度下脫離 4a 之主要高壓回收再利用流混合後進入復熱器熱交換器 4b，並在熱交換器區段 4b 中對立於熱渦輪機排氣流 10 而被加熱。附加壓縮之效用在於，將大量熱自第二壓縮器注入復熱器熱交換器中，該第二壓縮器係取在一升高溫度下之 CO_2 流作為其入口流，該升高溫度高於主要 CO_2 壓縮器之入口溫度。

【0012】 Bryant 等之教示顯露一缺點在於，熱輸入繞過復熱器熱交換器 4a 之第一階段。相較於在熱交換器 4a 中冷卻之低壓渦輪機排氣流，在熱交換器 4a 中獲加熱之高壓 CO_2 流具有遠較大之比熱，此意謂在熱交換器 4a 中傳遞至高壓流之熱必須最大化，以達成極接近溫度。這因已加熱、壓縮 CO_2 流繞過熱交換器 4a 而無法達成。為達成最大效率所需者係配置一熱氣體壓縮系統，其中已壓縮 CO_2 係在熱交換器中冷卻，及增加可傳遞至高壓 CO_2 流之熱。本案部分地關於一種克服該缺點之裝置。

【0013】 儘管第 1 圖及第 2 圖中所圖示之 Bryant 等循環代表熱 CO_2 壓縮之已知先前技藝，然其僅適用於簡易布雷登循環配置中，其使用一主要 CO_2 壓縮器(無中間冷卻器)，而提供高排放溫度。這接著使脫離復熱器熱交換器 4a 之冷卻渦輪機排放流體亦處於高溫下，造成在預冷器熱交換器中經捨棄之熱亦高。因此，明顯地僅可在該熱壓縮循環中的低壓力比時，才可達成最佳效率，其被顯示是在 2 至 4 的範圍中，而最佳之主要壓縮器入口壓力接近 CO_2 之臨界壓力。較高之壓力比將導致系統中過量之熱損失。第 1 圖及第 2 圖中顯示之 Bryant 等循環亦無法說明系統之細部設計。例如，存在於壓縮器入口管線 6 中，在對立於周圍冷卻裝置之熱交換器 5 中冷卻後的液體水分離。

【0014】 第 2 圖中之 Bryant 等循環具有數個其他限制。例如，主要壓縮器與再壓縮壓縮器之操作，大體上絕熱且階段之間無中間冷卻器，因此 Bryant 等循環效率將隨壓力比提高而顯著下降。Bryant 等所報告之研究顯示，針對 750°C 渦輪機入口溫度之最佳壓力比在 100bar 渦輪入口壓力下為 2.2、且在 250bar 渦輪機入口壓力下為 3.3。在一給定功率輸出下，低壓力比需要系統中具非常高之 CO_2 流率，導致高資本成本。相對地，本揭露內容提供一種具有高壓力比及高渦輪

機入口壓力而導致高效率及低資本成本之循環。

【0015】 依據本揭露內容之有用系統及方法可利用大約 5 或更大、譬如大約 5 至大約 30 之壓力比。在一些具體實施例中，壓力比較佳地可在大約 5 至大約 12 之範圍中。本系統及方法亦可利用中間冷卻之主要 CO₂ 回收再利用壓縮系統。高壓力比偏好高於 CO₂ 臨界壓力 7.38MPa 之渦輪機入口壓力，及低於該壓力之渦輪機排放壓力。此等較高之壓力比提供天然氣燃料系統 50% 至 60% 之高效率，及明顯較低之每仟瓦淨功率輸出中的 CO₂ 循環率。依據本揭露內容之有用系統及方法亦較佳地利用一相當大量之附加熱輸入，該附加熱係在譬如大於 100°C、且特別地在大約 100°C 至大約 400°C 或大約 100°C 至大約 300°C 範圍中之一溫度位準。目前揭示之系統及方法特別有利於，將來自主要回收再利用 CO₂ 壓縮器之壓縮熱的一部分作為該附加加熱之用。

【0016】 在一些具體實施例中，本揭露內容提供一種生成功率之方法。例如，該方法可包括以下步驟之各種組合：使一已壓縮、加熱回收再利用 CO₂ 流通入一燃燒器中；當存有回收再利用 CO₂ 流之情況下，在燃燒器中以氧氣燃燒一燃料，以產出一含 CO₂ 流；使該含 CO₂ 流通過一渦輪機，以使該含 CO₂ 流膨脹、生成功率、及形成一包括 CO₂ 之渦輪機排氣流；自包括 CO₂ 之渦輪機排氣流抽取熱；分歧該已冷卻渦輪機排氣流以形成一第一渦輪機排氣部分及第二渦輪機排氣部分；自該第一渦輪機排氣部分分離出水，以形成一主要回收再利用 CO₂ 流；壓縮該主要回收再利用 CO₂ 流；絕熱地壓縮該第二渦輪機排氣部分且在壓縮器階段之間無中間冷卻，以形成一已加熱、壓縮第二渦輪機排氣部分；自該已加熱、壓縮第二渦輪機排氣部分抽取熱；自該已冷卻、壓縮第二渦輪機排氣部分分離出水，以形成一次要回收再利用 CO₂ 流；結合該主要回收再利用 CO₂ 流與該次要回收再利用 CO₂ 流以形成一總回收再利用 CO₂ 流；冷卻該總回收再利用 CO₂ 流，以形成一高密度 CO₂ 流；使用一流體泵在一第二壓縮階段中壓縮該總回收再利用 CO₂ 流；以抽取自該渦輪機排氣流之熱來加熱該總回收再利用 CO₂ 流；及以抽取自該已加熱、壓縮第二渦輪機排氣部分之熱來進一步加熱該總回收再利用 CO₂ 流，以形成該已壓縮、加熱回收再利用 CO₂ 流。跟隨在自該次

要回收再利用 CO₂ 流抽取熱之後的二個已壓縮 CO₂ 流可相結合，接著可冷卻該等已結合流，隨後分離出液體水。在一些具體實施例中，可在多階段中壓縮該二渦輪機排氣流，且一個或更多該等階段之間具有熱傳。例如，該第二渦輪機排氣流可歷經多段壓縮，包含無冷卻壓縮階段(x)及中間冷卻壓縮階段(y)，其中 x 與 y 可獨立地為一整數 1 或更多、2 或更多、或者 3 或更多(譬如 1 至 5、或 2 至 4)。在一些具體實施例中，可在 x 個無冷卻壓縮階段中將該第二渦輪機排氣流加壓(及加熱)至一中間值，可利用該已加壓氣體來提供壓縮熱至一復熱式熱交換器而被冷卻，可使該已冷卻氣體脫水，且可迴送該氣體，以在會合該第一渦輪機排氣流之前歷經剩下之 y 個中間冷卻壓縮階段。

【0017】 在其他具體實施例中，本揭露內容提供一種功率產出系統。例如，該系統可包括：一燃燒器；一功率產出渦輪機；一個或更多熱交換器；一第一冷卻流動路徑，其通過該一個或更多熱交換器；一加熱動路徑，通過該一個或更多熱交換器；一流動分離器，其連通通過該一個或更多熱交換器之該第一冷卻流動路徑；一第一壓縮器，其連通該流動分離器；一第二冷卻流動路徑，其通過該一個或更多熱交換器，該第二冷卻流動路徑與該壓縮器連通；一個或更多水分離器；一第二壓縮器；及一泵。特別地，通過一個或更多熱交換器之加熱流動路徑係位在該泵下游及該燃燒器上游；及通過一個或更多熱交換器之加熱流動路徑係位在一加熱配置中，該加熱配置具有該通過一個或更多熱交換器之第一冷卻流動路徑與第二冷卻流動路徑。在一些具體實施例中，可藉由分離且獨立之水分離組件及/或泵組件界定出該第一冷卻流動路徑與該第二冷卻流動路徑。當使用二個或更多熱交換器時，可使用串連之熱交換器。

【0018】 在一些具體實施例中，本揭露內容可關於一種加熱再循環氣體流之方法。在一範例中，此方法可包括以下步驟：使一壓力 P_1 及一溫度 T_1 下之一氣體流 G 通過一復熱式熱交換器，以將該氣體流冷卻至小於 T_1 之一溫度 T_2 ；將氣體流 G 分離成一第一分部 G_1 與一第二分部 G_2 ；將氣體流分部 G_1 壓縮至大於 P_1 之一壓力 P_2 ；將氣體流分部 G_2 壓縮至大於 P_1 之一壓力 P_3 ，以將氣體流分部 G_2 加熱至大於 T_2 之一溫度 T_3 ；自該已壓縮氣體流分部 G_2 抽取熱；結合氣體流分部

G_1 與氣體流分部 G_2 ，以形成一已結合再循環氣體流 G_c ；將再循環氣體流 G_c 泵唧至大於 P_2 且大於 P_3 之一壓力 P_4 ；及使再循環氣體流 G_c 通行至該復熱式熱交換器，以藉由冷卻氣體流 G 來加熱氣體流 G_c ；其中將抽取自該已壓縮氣體流分部 G_2 之熱在泵唧至壓力 P_4 後加至再循環氣體流 G_c 。在其他具體實施例中，加熱再循環氣體流之方法可包括以下敘述經任何組合後之任一個或更多個。

【0019】 溫度 T_3 可為大約 100°C 至大約 400°C 。

【0020】 氣體流分部 G_1 之壓力 P_2 與氣體流分部 G_2 之壓力 P_3 可各別地為大約 40bar(4MPa) 至大約 100bar(10MPa)。

【0021】 再循環氣體流 G_c 之壓力 P_4 可為大約 100bar(10MPa) 至大約 500bar(50MPa)。

【0022】 基於氣體流 G 總質量之氣體分部 G_1 對氣體分部 G_2 質量比可為大約 50:50 至大約 99:1、或可為大約 50:50 至大約 90:10、或可為大約 50:50 至大約 70:30、或可為大約 70:30 至大約 90:10。

【0023】 通過該復熱式熱交換器且自該已壓縮氣體分部 G_2 接收熱之再循環氣體流 G_c 可具有一在 $T_1 50^{\circ}\text{C}$ 範圍內之溫度 T_4 。

【0024】 可藉多段壓縮且無中間冷卻地壓縮氣體流分部 G_2 。

【0025】 當自氣體流 G_2 抽取熱後，可在結合氣體流分部 G_1 之前進一步壓縮氣體流分部 G_2 。

【0026】 該復熱式熱交換器可包括串連之三個熱換器或三個熱交換區段。在這些具體實施例中，熱傳可發生在操作於溫度範圍 R_1 中之一第一熱交換器或熱交換區段、操作於溫度範圍 R_2 中之一第二熱交換器或熱交換區段、及操作於溫度範圍 R_3 中之一第三熱交換器或熱交換區段，其中溫度關係為 $R_1 > R_2 > R_3$ 。

【0027】 可在該第一熱交換器或熱交換區段、與該第二熱交換器或熱交換區段之間分離氣體流 G 。

【0028】 可在該第二熱交換器或熱交換區段、與該第三熱交換器或熱交換區段之間分離氣體流 G 。

【0029】 可將抽取自該已壓縮氣體流分部 G_2 之熱在該第三熱交換器或熱交換

區段、與該第二熱交換器或熱交換區段其中之一或全部二個中加至再循環氣體流 G_c 。

【0030】 該方法可尚包括，在泵唧至壓力 P_4 後，將熱加至再循環氣體流 G_c 。在這些具體實施例中，該加入之熱可自一空氣分離單元與一氣渦輪機其中之一或全部二個導出。

【0031】 該方法可尚包括使該已加熱再循環氣體流 G_c 自該復熱式熱交換器通行至一燃燒器，該燃燒器係以氧氣燃燒一燃料，以形成一燃燒產物流。

【0032】 氣體流 G 可為一渦輪機排氣流。

【0033】 在一些具體實施例中，本揭露內容可尚關於一種生成功率之方法。在一範例中，該方法可包括以下步驟。當存有一回收再利用 CO_2 流之情況下，在燃燒器中以氧氣燃燒一燃料，以產出一含 CO_2 燃燒流；使該含 CO_2 燃燒流通過一渦輪機，以使該含 CO_2 燃燒流膨脹、生成功率、及形成一渦輪機排氣流；自該渦輪機排氣流抽取熱；分歧該渦輪機排氣流，以形成一第一渦輪機排氣部分及第二渦輪機排氣部分；自該第一渦輪機排氣部分分離出水，以形成一主要回收再利用 CO_2 流；壓縮該主要回收再利用 CO_2 流；壓縮該第二渦輪機排氣部分，以形成一已加熱、壓縮第二渦輪機排氣部分；自該已加熱、壓縮第二渦輪機排氣部分抽取熱；自該已冷卻、壓縮第二渦輪機排氣部分分離出水，以形成一次要回收再利用 CO_2 流；結合該主要回收再利用 CO_2 流與該次要回收再利用 CO_2 流，以形成一已結合回收再利用 CO_2 流；壓縮該已結合回收再利用 CO_2 流；以抽取自該渦輪機排氣流之熱來加熱該已結合回收再利用 CO_2 流；及以抽取自該已加熱、壓縮第二渦輪機排氣部分之熱來進一步加熱該已結合回收再利用 CO_2 流。在其他具體實施例中，該方法可包括以下敘述經任何組合後之其中一個或更多個。

【0034】 該含 CO_2 燃燒流可具有一大約 $500^\circ C$ 至大約 $1,700^\circ C$ 之溫度，及一大約 100bar(10MPa)至大約 500bar(50MPa)之壓力。

【0035】 跨越該渦輪機之壓力比可為大約 5 至大約 12。

【0036】 該熱可抽取自一復熱式熱交換器中之渦輪機排氣流，該復熱式熱交

換器包括三個或更多區段、或者包括三個或更多個別熱交換器。

【0037】 可在該復熱式熱交換器中實施以抽取自該渦輪機排氣流之熱來加熱該已結合回收再利用 CO₂ 流、及以抽取自該已加熱、壓縮第二渦輪機排氣流部分之熱來進一步加熱該已結合回收再利用 CO₂ 流。

【0038】 基於該渦輪機排氣流總質量之該第一渦輪機排氣流部分對該第二渦輪機排氣流部分質量比可為大約 50:50 至大約 99:1。

【0039】 自該已加熱、壓縮第二渦輪機排氣部分抽取之熱可在一大約 100°C 至大約 400°C 之溫度範圍中。

【0040】 可將該主要回收再利用 CO₂ 流及該第二渦輪機排氣部分獨立地壓縮至一大約 40bar(4MPa)至大約 100bar(10MPa)之壓力。

【0041】 經抽取自該渦輪機排氣流之熱進行加熱、及經抽取自該已加熱、壓縮第二渦輪機排氣部分之熱進一步加熱後的該結合回收再利用 CO₂ 流，可具有在該渦輪機排氣流溫度 50°C 範圍內之一溫度。

【0042】 該第二渦輪機排氣部分可被絕熱地壓縮，且壓縮器階段之間無中間冷卻。

【0043】 在一些具體實施例中，依據本揭露內容之一種功率產出系統可包括以下：一燃燒器，經配置成排出一燃燒流；一功率產出渦輪機，經配置成接收與膨脹該燃燒流且形成一渦輪機排氣流；一復熱式熱交換器，經配置成接收該渦輪機排氣流；一流動分離器，經配置成將該已冷卻渦輪機排氣流分離成一第一氣體流與一第二氣體流；一第一壓縮器，經配置成接收與壓縮該第一氣體流；一第二壓縮器，經配置成接收與壓縮該第二氣體流；一泵，經配置成一同加壓該第一氣體流及該第二氣體流，其中定位該泵於該第一壓縮器及該第二壓縮器下游；一第一流動路徑，通過該復熱式熱交換器，且經配置成供該渦輪機排氣流通行；一第二流動路徑，通過該復熱式熱交換器，且經配置成供該已加壓第一氣體流與第二氣體流一同通行；一第三流動路徑，通過該復熱式熱交換器，且經配置成供該已壓縮第二氣體流通行；其中該第一流動路徑與該第三流動路徑經配置成用於加熱該第二流動路徑。在其他具體實施例中，該系統可包含以

下敘述經任何組合後之其中任一個或更多個。

【0044】 該復熱式熱交換器可包括一連串三個或更多熱交換器、或者一連串之三個或更多加熱區段。

【0045】 該系統可尚包括一個或更多分離器，其經配置成自該第一氣體流與該第二氣體流其中之一或全部二個分離出至少水。

【0046】 該第一壓縮器包括一多段、中間冷卻之壓縮器。

【0047】 該第二壓縮器可包括一絕熱、多段壓縮器，該壓縮器在階段之間無中間冷卻。

【圖式簡單說明】

【0048】 是以，已在前述一般條件下描述本揭露內容，現在將參考隨附圖式，該等圖式無需依比例繪製，且其中：

第 1 圖係先前技藝功率產出循環之流程圖；

第 2 圖係其他先前技藝功率產出循環之流程圖；及

第3圖係依據本揭露內容示範具體實施例之功率產出系統及方法的流程圖，其中包含複數個壓縮器，以用於壓縮回收再利用CO₂流且自其導出熱，以輸出至復熱器熱交換器。

【實施方式】

【0049】 此後將參考示範具體實施例更完整地說明本標的。說明示範具體實施例將使本揭露內容周密且完整，並將本標的之範疇完全地傳達給熟習本技藝之人士。當然，可將本標的具體實施成許多不同型式，但不應推斷本標的以此中所提出之具體實施例為限；更確切地說，可提供具體實施例，使本揭露內容滿足可應用之法定需求。如本說明書中、及隨附申請專利範圍中所使用者，除非文中有明確指定者外，單數型式「一」、「該」包含複數個指示對象。

【0050】 本揭露內容關於一種主要地使用 CO₂ 作為工作流體來提供功率產出之系統及方法。特別地，該製程使用一高壓/低壓比渦輪機，其使高壓回收再利用 CO₂ 流與燃料燃燒所形成燃燒產物之混合物膨脹。可使用任何化石燃料，特

別是碳質燃料。非限制用範例包含天然氣、壓縮氣體、燃料氣體(譬如包括 H₂、CO、CH₄、H₂S、及 NH₃ 中一個或更多)、及相似之可燃氣體。亦可併入必要之系統元件來使用固體燃料—譬如煤、褐煤、石油焦、瀝青、生物質、及相似物，以及各種液體燃料。例如，可使用部分氧化燃料器，以將固體或黏性液體燃料轉換成大致無固體微粒之燃料氣體。可將所有氧化狀態下之燃料及燃燒衍生雜質，如硫化合物、NO、NO₂、CO₂、H₂O、H₂、及相似物，自功率循環分離出以進行廢氣處理，而大致或完全無排放至大氣。如先前所提及者，可同樣地利用其他燃料。可使用純氧作為燃燒製程中之氧化劑。在一些具體實施例中，可如此中其他部分所提及者，以 CO₂ 稀釋氧氣所佔比率，來調節燃燒溫度。

【0051】 可使用熱渦輪機排氣來部分地預加熱高壓回收再利用 CO₂ 流。可結合此加熱，使用自壓縮器導出之壓縮能量所衍生的附加加熱來進一步加熱回收再利用 CO₂ 流。CO₂ 壓縮器之操作條件可變化，如將在此中進一步說明者。例如，在一些具體實施例中，利用高於周圍冷卻裝置正常入口者之 CO₂ 壓縮器入口溫度可非常有用。進入 CO₂ 壓縮器之流的最小入口溫度，在操作條件下可譬如近似水的露點。在一些具體實施例中，CO₂ 壓縮器可具有大約 50°C 至大約 250°C 之入口溫度。除了可由 CO₂ 壓縮而取得之加熱以外，可使用選用之其他加熱裝置(在低於大約 400°C 之溫度位準下提供熱)。此類裝置可包括自部分或完全操作於絕熱模式下、無中間冷卻之低溫空氣分離設備的空氣壓縮器所傳遞之熱。當利用此類熱時，較佳地可在絕熱階段中，以高於 2.5 之壓力比操作空氣壓縮器。

【0052】 依據本揭露內容，已發現可經由提供此中所定義之附加加熱來改良功率產出效率，特別地在低於大約 400°C (譬如在大約 100°C 至大約 400°C 之範圍中)之溫度位準下提供此種附加加熱。該提供附加加熱可克服大約 300bar(30MPa)之典型高壓渦輪機入口處的 CO₂ 比熱、與大約 30bar(3MPa)之典型低壓渦輪機排氣壓力下的 CO₂ 比熱之大差異。以下提供之表格中可顯現此差異。

溫度 K(°C)	30bar(3MPa)下之 CO ₂	300bar(30MPa)下之 CO ₂
----------	-------------------------------	---------------------------------

	比熱(仟焦耳/公斤) (kJ/kg)	比熱(仟焦耳/公斤) (kJ/kg)
300(26.85)	1.18	1.95
350(76.85)	1.05	2.00
400(126.85)	1.02	1.90
450(176.85)	1.03	1.63
500(226.85)	1.06	1.47
600(326.85)	1.10	1.31
750(476.85)	1.17	1.23
1000(726.85)	1.24	1.28

【0053】 依據本揭露內容之功率產出方法特別地可包括一連串步驟，該等步驟可提供改良之效率。該方法可包括使一已壓縮、加熱之回收再利用 CO₂ 流通入一燃燒器中。可如以下進一步說明者形成該已壓縮、加熱之回收再利用 CO₂ 流。在該燃燒器中，可在存有回收再利用 CO₂ 流之情況下，以氧化劑(譬如純度至少 98%或至少 99%之氧氣，可選擇以 CO₂ 稀釋)燃燒一燃料，以產出一含 CO₂ 流。來自該燃燒器之含 CO₂ 流可具有大約 500°C或更高(譬如大約 500°C至大約 1,700°C、或大約 800°C至大約 1,600°C)之溫度，及大約 100bar(10MPa)或更高(譬如大約 100bar(10MPa)至大約 500bar(50MPa))之壓力。可使含 CO₂ 流通過渦輪機，以使該含 CO₂ 流膨脹、生成功率、及形成包括 CO₂ 之渦輪機排氣流。該含 CO₂ 流可在跨越壓力比小於 12 或小於 10(譬如大約 5 至大約 12)之渦輪機時膨脹。在另一具體實施例中，可使用此處所提及之高壓力比，譬如在美國專利公開案第 2013/0213049 號中所述之利用複數個渦輪機的情況下，已藉參考方式將該案完全併入本案中。

【0054】 可處理渦輪機排氣流，以移除燃燒產物、及任何燃料燃燒所產之最終 CO₂。為此，可藉通過熱交換器來冷卻渦輪機排氣流。可利用任何適用於此中所述溫度與壓力條件下之熱交換器。在一些具體實施例中，該熱交換器可包括一連串至少二、至少三、或甚至更多個節熱器熱交換器。可使用具至少二區段、至少三區段(或甚至更多區段)之單一熱交換器。例如，可描述熱交換器為具

有至少三個操作跨越不同溫度範圍之熱交換區段。可利用自渦輪機氣流抽取之熱來加熱回收再利用 CO₂ 流，如以下所述者。

【0055】 可將渦輪機排氣流分歧成二個或更多部分。第一部分可包括 50%或更多、70%或更多、或者 90%或更多(但少於 100%)之渦輪機排氣流總質量流動。第一渦輪機排氣部分係在脫離熱交換器後，較佳地在小於水露點之溫度下冷卻。可使第一渦輪機排氣部分通過一分離器以移除水，且可進一步處理該第一渦輪機排氣部分以移除其他燃料產物或雜質。可描述最終流為主要回收再利用 CO₂ 流，且該流可譬如在階段之間具有中間冷卻的多階段壓縮器中被壓縮。較佳地，將主要回收再利用 CO₂ 流壓縮至大約 40bar(4MPa)至大約 100bar(10MPa)之壓力。在一些具體實施例中，將主要回收再利用 CO₂ 流壓縮至大約 60bar(6MPa)至大約 100bar(10MPa)、或大約 67bar(6.7MPa)至大約 80bar(8MPa)之壓力。

【0056】 可壓縮第二部分渦輪機排氣流，以形成一已加熱、壓縮之第二渦輪機排氣部分。第二渦輪機排氣部分可包括未存在於第一部分中之剩餘渦輪機排氣(譬如 50%或更少、30%或更少、或者 10%或更少(但多於 0%)之渦輪機排氣流總質量流體)。較佳地，可自第二與第三熱交換區段之間的渦輪機排氣抽取第二渦輪機排氣部分(譬如串連中由熱運動到冷之第二與第三熱交換器—換言之，工作於最低溫與中溫之間的熱交換器)。較佳地壓縮第二渦輪機排氣部分，以達成大約 100°C 至大約 400°C 範圍中之溫度、及大約 40bar(4MPa)至大約 100bar(10MPa)之壓力。在一些具體實施例中，該壓力可為大約 60bar(6MPa)至大約 100bar(10MPa)、或大約 67bar(6.7MPa)至大約 80bar(8MPa)。可將第二渦輪機排氣部分再次導至熱交換器，較佳地自中溫熱交換器之熱端通行至低溫熱交換器之冷端。已冷卻之第二渦輪機排氣部分可處在低於水露點之溫度，且可使已冷卻流通過一個或更多分離器以移除水及任何其他雜質。剩餘之流係次要回收再利用 CO₂ 流，且可與主要回收再利用 CO₂ 流相結合。可在多個點進行此結合。例如，主要回收再利用 CO₂ 流可在通過低溫熱交換器之後、且通過分離器之前，加至已冷卻之渦輪機排氣第二部分。另一選擇，主要回收再利用 CO₂ 流與次要回收再利用 CO₂ 流可在水分離後、或循環之其他點相結合。可在此點抽取由燃

燒產出之最終 CO₂，以譬如用於增加油採收、整合作用、或相似者。

【0057】 在一些具體實施例中，可使用多段壓縮來壓縮第二渦輪機排氣部分，其中無中間冷卻存在於較後階段間之中間冷卻所跟隨階段之間。可將離開無冷卻階段之第二渦輪機排氣部分的已壓縮與加熱氣體導至以上其他部分所述之熱交換器，且可使如此冷卻之流在與第一渦輪機排氣部分相結合前，歷經中間冷卻之壓縮。無冷卻階段(x)與中間冷卻階段(y)之數量可獨立地為 1 或更多、2 或更多、或者 3 或更多(譬如 1 至 5、或 2 至 4)。

【0058】 可將全部回收再利用 CO₂ 流(由主要回收再利用 CO₂ 流與次要回收再利用 CO₂ 流形成)泵唧至適於通入燃燒器中之壓力。較佳地，將全部回收再利用 CO₂ 流泵唧至 100bar(10MPa)或更大、或者 200bar(20MPa)或更大，譬如大約 100bar(10MPa)至大約 500bar(50MPa)之壓力。接著再使已壓縮回收再利用 CO₂ 流返回通過熱交換器待加熱。使用抽取自渦輪機排氣流之熱(其特徵為仍保留在渦輪機排氣流中之燃燒熱)來加熱已壓縮回收再利用 CO₂ 流。然而，渦輪機排氣流中之熱不足以在渦輪機排氣流、與熱交換器熱端處之已加熱、壓縮回收再利用 CO₂ 流之間達成接近的溫度逼近。依據本揭露內容，可使用來自己壓縮、第二渦輪機排氣部分之熱進行附加加熱，以減少渦輪機排氣流、與脫離熱交換器且進入燃燒器之已加熱、壓縮回收再利用 CO₂ 之間的溫度差。該附加加熱之特徵為再次壓縮之熱，且與存在於渦輪機排氣中之燃燒熱相分離。使用該附加加熱可有利於減少渦輪機排氣流、與脫離熱交換器且進入燃燒器之已加熱、壓縮回收再利用 CO₂ 流之間的溫度差達大約 50°C 或更小、大約 40°C 或更小、或者大約 30°C 或更小，譬如大約 10°C 至大約 50°C、或大約 20°C 至大約 40°C。

【0059】 在一些具體實施例中，可藉其他裝置結合再次壓縮之熱、或作為再次壓縮之熱的另一選擇，來提供附加加熱。例如，可利用來自外部源之已加熱 CO₂。此種外部源可為譬如抽取自地質資源之 CO₂、取自管線之 CO₂、或相似者。在此種具體實施例中，並非必須使渦輪機排氣流分裂，且可依相同於上述再次壓縮之熱的方式，將已加熱 CO₂ 輸入至系統。可自具有最終 CO₂ 產物之系統抽取額外 CO₂，且可使該額外 CO₂ 返回熱源。依此方式，可利用來自完全在功率

產出系統外之外部源的回收再利用 CO₂ 進行附加加熱。另一選擇，部分或全部之附加加熱可來自氣渦輪機排氣或來自冷凝流。

【0060】 第 3 圖顯示依據本揭露內容之系統的示範具體實施例。可相關於利用既定參數之一燃燒方法示範具體實施例來說明該具體實施例。特定溫度與壓力因此可根據特定操作條件而改變。

【0061】 在第 3 圖之具體實施例中，728°C 且 30bar(3MPa)下之一渦輪機排氣流 55 通過一連串三個節熱器熱交換器 29、27、及 26 而離開成為 46°C 且 29bar(2.9MPa)下之流 46。熱交換器 29 之特徵為一高溫熱交換器，熱交換器 27 之特徵為一中溫熱交換器，且熱交換器 26 之特徵為一低溫熱交換器。需要了解的是，僅意欲以詞彙「高溫」、「中溫」、及「低溫」描述互相相關之三個熱交換器之操作溫度範圍。流 46 在一水冷熱交換器 58 中冷卻至 17.2°C，且在相分離器槽 53 中分離出一冷凝水流 56。一頂部 CO₂ 氣體流 61 脫離相分離器槽 53 且進入二段離心 CO₂ 回收再利用壓縮器 21(階段 1)與 22(階段 2)，其中來自第一段壓縮器 21 之一排放流 44 係在一中間冷卻器 23 中冷卻至 17.2°C 而離開成為流 45，且接著在第二段壓縮器 22 中經壓縮而形成 80bar(8MPa)下之流 48。此主要回收再利用壓縮器排放流 48 將與流 47 會合，且已結合後之流 69 將在一水冷卻熱交換器 24 中冷卻至 22.7°C 之溫度。在其他具體實施例中，該溫度可在 10°C 至大約 30°C 之範圍中。在一相分離器 67 中分離出冷凝水 68，以產出全部回收再利用 CO₂ 流 49，該全部回收再利用 CO₂ 流處於超臨界狀態且具有 850kg/m³ 之高密度。可將一最終產物 CO₂ 流 62(如圖式所示之冷卻後、或冷卻前)自系統移除，以用於螯合作用、用於增加油採收中、或相似者，其中該最終產物 CO₂ 流係與燃料氣體中可在燃燒器內轉換成 CO₂ 之碳等效。

【0062】 全部回收再利用 CO₂ 流 49 係在熱交換器 70 中冷卻至一 17.2°C 之溫度，且接著進入多段離心泵 25 達 305bar(30.5MPa)之排放壓力，以形成一高壓 CO₂ 回收再利用流 50，該高壓 CO₂ 回收再利用流在串連之三個節熱器熱交換器 26、27、及 29 中經加熱，並離開該等熱交換器成為溫度 725°C 且 302bar(30.2MPa)下之流 54。在燃燒器 30 中藉皆處於 320bar(32MPa)下之天然氣流 40 與 99.5%O₂

流 41 直接燃燒，以將流 54 加熱至 1154°C。在示範具體實施例中係以純甲烷(CH₄)作為燃料氣體來進行模擬。回收再利用 CO₂ 與燃燒產物 57 之混合流將進入一動力渦輪機 31 而具有一排放壓力 30bar(3MPa)，且將排出成為渦輪機排氣流 55。

【0063】 可由以上表格看出，300bar(30MPa)與 30bar(3MPa)下之 CO₂ 比熱差異將隨溫度自 1000K(727°C)下降而增加。依照該差異，需要附加加熱以在渦輪機排氣流 55 與回收再利用 CO₂ 流 54 之間達成極接近溫度逼近，且可將此附加加熱供應於譬如「低溫」節熱器熱交換器 26 及/或「中溫」節熱器熱交換器 27 中。依據本揭露內容，藉由利用本示範具體實施例中，經壓縮達大約 29bar(2.9MPa)至大約 80bar(8MPa)壓力之回收再利用 CO₂ 流一部分的絕熱壓縮熱而提供該附加加熱。

【0064】 回到第 3 圖之示範具體實施例，可將在二節熱器熱交換器區段 27 與 26 之間處於溫度 138°C 之一部分冷卻渦輪機排氣流 51 抽取出，且在一單段或多段絕熱壓縮器 28 中壓縮，以產出 246°C 且 80bar(8MPa)之流 52。該已壓縮且加熱流 52 再次進入節熱器熱交換器 27 之熱端，且使該流通過熱交換器 27 及熱交換器 26，其中它被冷卻，且離開而成為 54°C 之流 47。工作流 34 供應於壓縮器 28 中之全部壓縮熱，將因此傳遞至高壓回收再利用 CO₂ 流，且此熱輸入與燃燒器 30 中所輸送之燃燒熱等效，因為其減少熱端溫差。使流 51 之流率最大化，以在高溫節熱器熱交換器 29 入口處達成明顯較小之流 65 與 66 溫差。該流 65 與 66 溫差較佳地大約 50°C 或更小、大約 40°C 或更小、大約 30°C 或更小、大約 20°C 或更小、特別是大約 10°C 至大約 50°C、或大約 20°C 至大約 40°C。如上所述者，流 47 會合主要回收再利用壓縮器排放流 48，以在熱交換器 24 中冷卻至 22.7°C。上述藉 CO₂ 壓縮提供之附加加熱，將提供功率產出系統提升之效率。

【0065】 請注意，可利用其他低溫位準加熱源(譬如氣渦輪機排氣或冷凝流)進行附加加熱。第 3 圖之示範具體實施例包含低溫空氣分離設備 81 主要空氣流動 42a，其經絕熱地壓縮至 5.7bar(0.57MPa)與 223°C，而以流 42 進入節熱器熱交換器 27 之熱端，且離開熱交換器 26 成為 54°C 之流 43。在一些具體實施例中，流 42 由流 42b 產生，其圖示成由一氣渦輪機 83 導出之熱。儘管第 3 圖中未圖示

出，然在一些具體實施例中，可由空氣分離設備供應 80bar(8MPa)及周圍溫度下之 O_2 流，及可將該 O_2 流與來自流 49 之 CO_2 混合以提供 25mol% O_2 ，該 O_2 可在節熱器熱交換器 27、26、及 29 中被加熱至 725°C 前經壓縮至 320bar(32MPa)。實際上，此 CO_2+O_2 壓縮器亦得以熱氣體壓縮器區段為特徵，如已為 CO_2 回收再利用壓縮器圖示者。在第 3 圖中，冷卻水入口流係以流 38、59、72、及 36 代表，而同時各別出口流係由流 39、60、74、及 37 代表。壓縮器功率輸入在第 3 圖中係以元件 32 與 34 圖示，且此類功率輸入可為電氣式或可由渦輪機驅動。 CO_2 泵電功率輸入係以元件 33 圖示。渦輪機軸功輸出係以來自發電機 63 之元件 64 圖示。

【0066】 已說明之示範具體實施例係以 ASPEN 模擬軟體使用實際機械效率、熱交換器溫差進行評估，且系統壓力下降而提供淨效率 58.8%(LHV 基礎)。計算係根據熱輸入 500 百萬瓦特(MW)至燃燒器 30 為基礎。

【0067】 儘管揭示之系統及方法特別可應用至功率產出之燃燒系統及方法，有效加熱氣體流的廣泛應用亦可被涵蓋。如此，在一些具體實施例中，本揭露內容可關於一種加熱氣體流、且特別地加熱再循環氣體流之方法。該再循環氣體流可為連續循環通過加熱與冷卻階段、可選用地包含壓縮與膨脹階段之任何氣體流。

【0068】 依據本揭露內容歷經加熱之氣體流 G 可為任何氣體；然而，特別有利的是氣體流 G 可包括 CO_2 ，譬如以質量計至少大約 10%、至少大約 25%、至少大約 50%、至少大約 75%、或至少大約 90%之 CO_2 。再循環氣體流 G 特別可在增高溫度 T_1 (譬如大約 500°C 至大約 1700°C)、及允許形成所需壓縮熱總量之壓力 P_1 —譬如小於大約 40bar(4MPa)之壓力下。可譬如使壓力 P_1 及溫度 T_1 下之氣體流 G 通過復熱式熱交換器而被冷卻。較佳地，進行冷卻，以使得將氣體流 G 冷卻至小於 T_1 之溫度 T_2 。在一些具體實施例中，可使用一連串多重熱交換器(譬如 2 個、3 個、或更多熱交換器)、或使用包含複數個熱交換區段之一熱交換器、或使用其組合來實施冷卻。各別熱交換器(或熱區段)可在不同溫度範圍下交換熱，其中該等溫度範圍可重疊。使用多重熱交換器及/或熱交換區段允許在不同溫度

下加入或抽取流。

【0069】 可將氣體 G 分離成第一分部 G_1 與第二分部 G_2 。可在氣體流 G 已冷卻至溫度 T_2 、或至介於 T_1 與 T_2 之間的一中間溫度 T_{int} 後發生此分離。溫度 T_2 譬如可為復熱式交換器(或在最低溫度範圍工作之熱交換器或熱交換區段)冷端之溫度，且溫度 T_{int} 譬如可為一連串三個或更多熱交換器(或熱交換區段)中第二熱交換器(或第二熱交換區段)冷端之溫度。較佳地，可在第一氣體分部 G_1 進一步冷卻前，在中間溫度下抽取第二氣體分部 G_2 。當氣體流分部 G_1 已冷卻後，其能接著被壓縮至較佳地可大於 P_1 之一較大壓力 P_2 。可譬如藉由被中間冷卻之多段壓縮器實施此壓縮。壓力 P_3 可譬如為大約 40bar(4MPa) 至大約 100bar(10MPa)、大約 60bar(6MPa) 至大約 100bar(10MPa)、或大約 67bar(6.7MPa) 至大約 80bar(8MPa)。

【0070】 可將經抽取之氣體流分部 G_2 分離地壓縮至較佳地亦大於 P_1 之一壓力 P_3 。壓力 P_3 可與壓力 P_2 在相同範圍中；然而， P_2 與 P_3 並非必須完全相同。在一些具體實施例中，可使用絕熱壓縮而在無中間冷卻之情況下壓縮氣體流分部 G_2 ，以將氣體流分部 G_2 加熱至大於 T_2 之一溫度 T_3 。在可於中間溫度 T_{int} 下抽取氣體流分部 G_2 之具體實施例中， T_3 較佳地大於 T_{int} 。可將來自已壓縮氣體流分部 G_2 之熱抽取，並用作為再循環氣體流之附加加熱，如以下進一步說明者。

【0071】 當已自氣體流分部 G_2 抽取壓縮熱後，氣體流分部 G_1 與氣體流分部 G_2 可結合，以形成一已結合再循環氣體流 G_c 。再循環氣體流 G_c 將具有大致相似於壓力 P_2 及/或 P_3 之一壓力，且可將該再循環氣體流泵唧至大於 P_2 且大於 P_3 之一較大壓力 P_4 。當再循環氣體流 G_c 係用於高壓應用中時，將期望有此泵唧。然而，在一些具體實施例中，壓力 P_2 及/或 P_3 可屬適當，且無需進一步壓縮。

【0072】 可使再循環氣體流 G_c (可選用在壓力 P_4 下)通行至復熱式熱交換器，以藉冷卻氣體 G 加熱氣體流 G_c 。可將抽取自已壓縮氣體流分部 G_2 之熱加至再循環氣體流 G_c 。可在泵唧至壓力 P_4 後實施此附加加熱。在一些具體實施例中，可在復熱式熱交換器中實施此附加加熱。例如，倘使用單一復熱式熱交換器，則可在一適當點將已壓縮氣體流分部 G_2 之熱輸入至熱交換器，以在需求溫度範

圍中提供附加加熱至再循環氣體流 G_c 。在使用複數個熱交換器(或熱交換區段)之具體實施例中，可將壓縮氣體流分部 G_2 之熱加至一個或更多較低溫熱交換器(或熱交換區段)。例如，在壓縮期間，可將氣體流分部 G_2 加熱至大約 100°C 至大約 400°C 範圍中之一溫度，且可將來自已壓縮氣體流分部 G_2 之熱加至在該溫度範圍中工作之一個或更多熱交換器(或熱交換區段)。在第 3 圖中，譬如已壓縮氣體流分部 G_2 可等同於通過熱交換器 26 與 27 之流 52，其係工作於較熱交換器 29 低之一較低溫度範圍中。通常，譬如第 3 圖所圖示之一連串熱交換器包括三個熱交換器，其每一個在分離溫度範圍(該等範圍可重疊)中傳遞。在第 3 圖之範例中，熱交換器 29 之特徵為操作於一溫度範圍 R_1 中，熱交換器 27 之特徵為操作於一溫度範圍 R_2 中，及熱交換器 26 之特徵為操作於一溫度範圍 R_3 中。如圖式所示者，由於熱交換器 29 係處於該連串之熱端，且熱交換器 26 係處於該連串之冷端，因此該連串熱交換器之溫度關係為 $R_1 > R_2 > R_3$ 。

【0073】 使用已壓縮氣體流分部 G_2 中壓縮熱所提供之附加加熱可有利於將已結合再循環氣體流 G_c 之溫度帶至顯著接近氣體流 G 冷卻前之溫度。例如，再循環氣體流 G_c 在通過復熱式熱交換器及接收來自壓縮氣體分部 G_2 之熱後可具有在 $T_1 50^\circ\text{C}$ 範圍內之一溫度 T_4 。典型地，再循環氣體流 G_c 在通過復熱式熱交換器後之溫度 T_4 將保持在 T_1 以下。在這些具體實施例中，再循環氣體流 G_c 在通過復熱式熱交換器及接收來自已壓縮氣體分部 G_2 之熱後，可具有一溫度 T_4 ，該溫度小於 T_1 不超過 50°C 。

【0074】 可經由加入來自一個或更多額外源之熱來進一步改善 T_4 接近至 T_1 。此種額外熱源可包括配置成將加熱傳送至一流(其足以加熱此處所述之氣體流)，以使該氣體流達成所需熱品質及熱總量的任何裝置或裝置組合物。在非限制用範例中，該額外熱源可為燃燒熱源、太陽能熱源、核能熱源、地熱熱源、及工業廢熱源其中一個或更多。該額外熱源可包含熱交換器、熱泵、功率產出裝置、以及適合於形成、提供、或輸送所需熱之任何其他元件組合物(譬如管路及相似物)。

【0075】 加熱再循環氣體流之方法可尚包括一個或更多步驟。例如，氣體流

G 可為離開渦輪機之流。如此，氣體流 G 之壓力 P_1 可小於該氣體流通過渦輪機前之較早壓力 P_0 。在一些具體實施例中， P_0 可大致相似於 P_4 (譬如在 10%、5%、或 2% 範圍內)。在一些具體實施例中，再循環氣體流 G_c 可在離開熱交換器之熱端後(即，在熱交換器中再次加熱及接收來自 G_2 之附加壓縮熱後)，歷經一過度加熱步驟。例如，可藉燃燒熱、太陽能熱、核能熱、地熱之熱、工業廢熱、或其任何組合物來加熱再循環氣體流 G_c 。在一些具體實施例中，可依此加熱再循環氣體流 G_c 、且接著使該再循環氣體流 G_c 通過渦輪機以膨脹及產出功率。脫離渦輪機之流可再次以氣體流 G 為特徵。

【0076】 熟習本技藝之人士基於前述說明及相關圖式中所提教示之助益，可設想到目前揭示標的之眾多修飾及其他具體實施例。因此，需要了解的是，本揭露內容並非以此中所述之特定具體實施例為限，且意欲將此等修飾及其他具體實施例包含於隨附申請專利範圍之範疇內。儘管此中運用特定術語，然此等術語僅具一般性及說明性之意義，且並非作限制之用。

【符號說明】

1、16	壓縮器	2	渦輪機
3	加熱器	4、4a、4b	復熱器熱交換器
5	熱交換器	6、7、8、9	管線
10、55	渦輪機排氣流	11	冷卻流
12、18	管線	13	氧氣
14	燃料	15	軸功
17	低壓渦輪機排氣流	21	第一段壓縮器
22	第二段壓縮器	23	中間冷卻器
24、58	水冷卻熱交換器	25	多段離心泵
26、27、29	節熱器熱交換器	28	絕熱壓縮器
30	燃燒器	31	動力渦輪機

32、34	壓縮器功率輸入	33	泵電功率輸入
36、38、59、72	冷卻水入口流	37、39、60、74	冷卻水出口流
40	天然氣流	41	99.5%O ₂ 流
42、42b、43、45、46、47、48、49、50、65、66、69			流
42a	主要空氣流動	44	排放流
51	一部分冷卻渦輪機排氣流	52	已壓縮且加熱流
53	相分離器槽	54	回收再利用CO ₂ 流
55	渦輪機排氣流	56	冷凝水流
57	燃燒產物	58	水冷熱交換器
61	頂部CO ₂ 氣體流	62	最終產物CO ₂ 流
63	發電機	64	元件
67	相分離器	68	冷凝水
70	熱交換器	81	低溫空氣分離設備
83	氣渦輪機		

【發明申請專利範圍】

【第 1 項】一種加熱一再循環氣體流之方法，該方法包括：

使一被加熱的排氣氣體流通過一復熱式熱交換器，以從中將熱抽取且形成一冷卻的氣體流；

將該冷卻的氣體流分離為至少一第一分部與一第二分部；

將該冷卻的氣體流的該第一分部壓縮以形成一壓縮的第一分部氣體流；

將該氣體流的該第二分部壓縮以便添加熱至該氣體流的該第二分部，且形成一壓縮的第二分部氣體流；

結合該壓縮的第一分部氣體流以及該壓縮的第二分部氣體流以形成一結合的再循環氣體流；以及

將該結合的再循環氣體流泵唧至大於該壓縮的第一分部氣體流的一壓力且大於該壓縮的第二分部氣體流的一壓力的一壓力；

其中，該結合的再循環氣體流使用從該被加熱的排氣氣體流抽取的該熱以及被添加至該氣體流的該第二分部的該熱來加熱。

【第 2 項】如申請專利範圍第 1 項所述之方法，其中熱被添加至該氣體流的該第二分部以致於該壓縮的第二分部氣體流係於大約 100°C 至大約 400°C 的一溫度。

【第 3 項】如申請專利範圍第 1 項所述之方法，其中該結合的再循環氣體流被泵唧至大約 100 bar (10 MPa) 至大約 500 bar (50 MPa) 的一壓力。

【第 4 項】如申請專利範圍第 1 項所述之方法，其中壓縮該氣體流的該第二分部包括無中間冷卻的多段壓縮。

【第 5 項】如申請專利範圍第 1 項所述之方法，包括將被添加至該氣體流分部的該第二分部的該熱抽取，並在所述泵唧後提供所述熱至該結合的再循環氣體流。

【第 6 項】如申請專利範圍第 1 項所述之方法，其中該復熱式熱交換器包括至少兩個熱交換器或串連的至少兩個熱交換器區段。

【第 7 項】如申請專利範圍第 1 項所述之方法，更包括在所述泵唧後添加熱至該結合的再循環氣體流，其中，該被添加的熱是從一空氣分離單元以及一氣渦輪機的一或兩者而來。

【第8項】如申請專利範圍第1項所述之方法，其中在使用從該被加熱的排氣體流抽取的該熱以及被添加至該氣體流的該第二分部的該熱來加熱該結合的再循環氣體流後，該方法更包括將該結合的再循環氣體流通過燃燒一燃料與氧氣以形成一燃燒產物流的一燃燒器。

【第9項】一種生成功率之方法，該方法包括：

透過一渦輪機膨脹一含有壓縮 CO₂ 流以膨脹該含有 CO₂ 流、生成功率以及形成一渦輪機排氣流；

從該渦輪機排氣流抽取熱；

分歧該渦輪機排氣流，以形成一第一渦輪機排氣部分及第二渦輪機排氣部分；

壓縮該第一渦輪機排氣部分以形成一主要再利用 CO₂ 流；

壓縮該第二渦輪機排氣部分以對其添加熱以及形成一次要再利用 CO₂ 流；

結合該主要再利用 CO₂ 流以及該次要再利用 CO₂ 流以形成一結合的再利用 CO₂ 流；以及

壓縮該結合的再利用 CO₂ 流；

其中，該結合的再利用 CO₂ 流使用從該渦輪機排氣流抽取的該熱以及被添加至該第二渦輪機排氣部分的該熱來加熱。

【第10項】如申請專利範圍第9項所述之方法，其中該含有CO₂流具有大約500°C至大約1,700°C之一溫度以及大約100 bar (10 MPa)至大約500 bar (50 MPa)之一壓力。

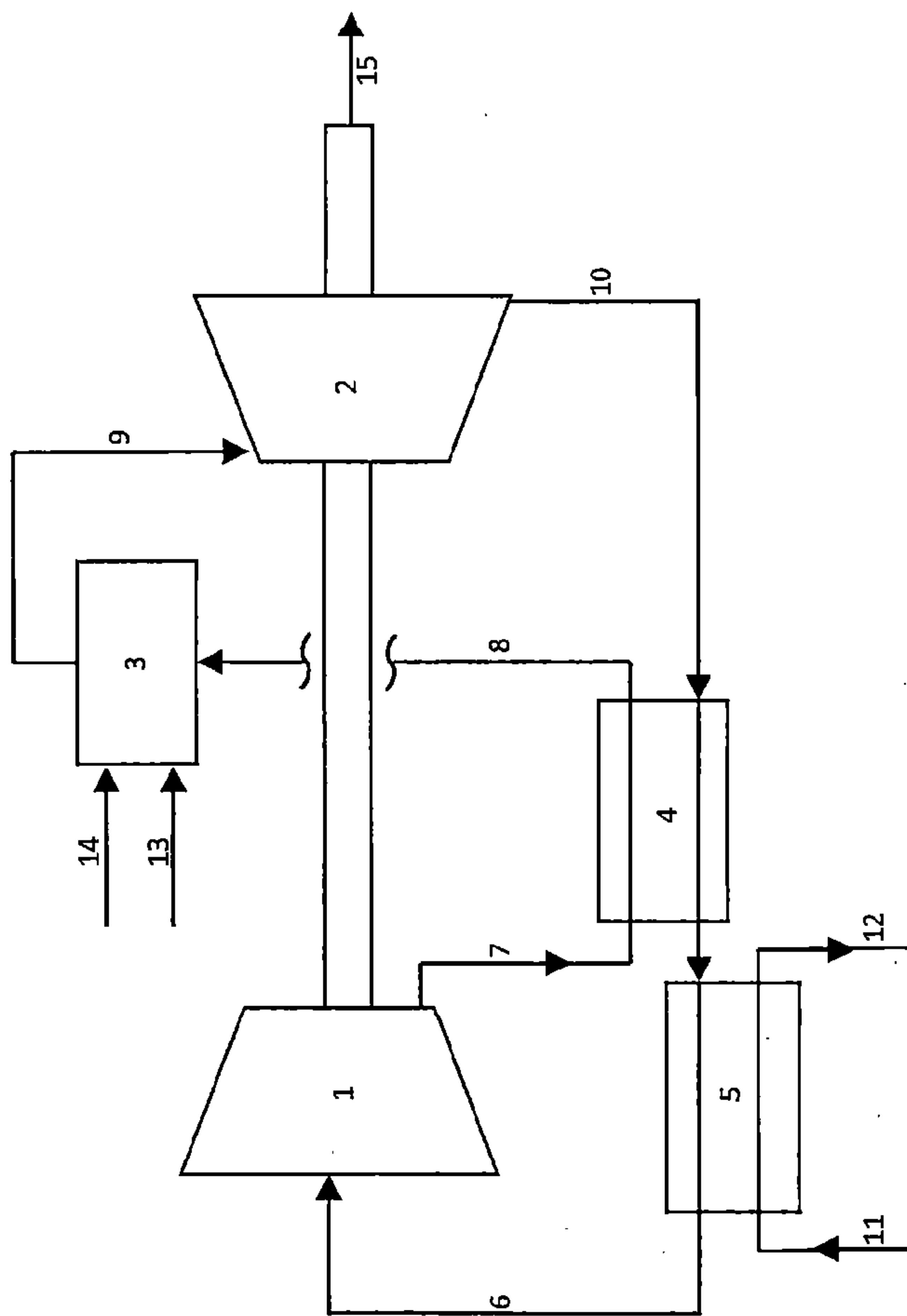
【第11項】如申請專利範圍第9項所述之方法，其中跨越該渦輪機之一壓力比為大約5至大約12。

【第12項】如申請專利範圍第9項所述之方法，其中來自該渦輪機排氣流的該熱是在一復熱式熱交換器中抽取。

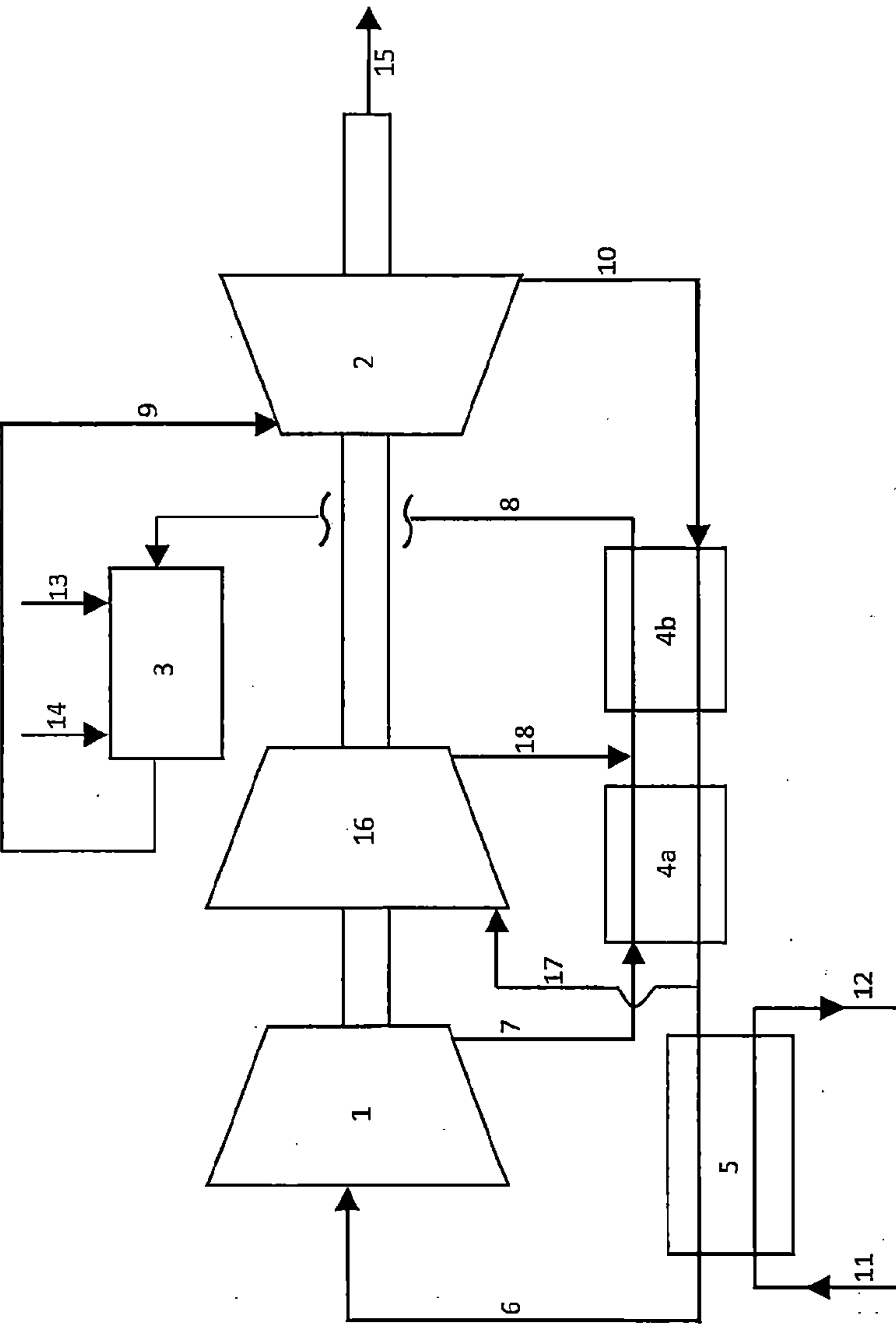
【第13項】如申請專利範圍第9項所述之方法，被添加至該第二渦輪機排氣部分以致於該次要再利用CO₂流係於大約100℃至大約400℃的一溫度。

【第14項】如申請專利範圍第9項所述之方法，其中壓縮該第二渦輪機排氣部分包括在壓縮器階段之間無中間冷卻的多段壓縮。

【發明圖式】



第 1 圖



第 2 圖

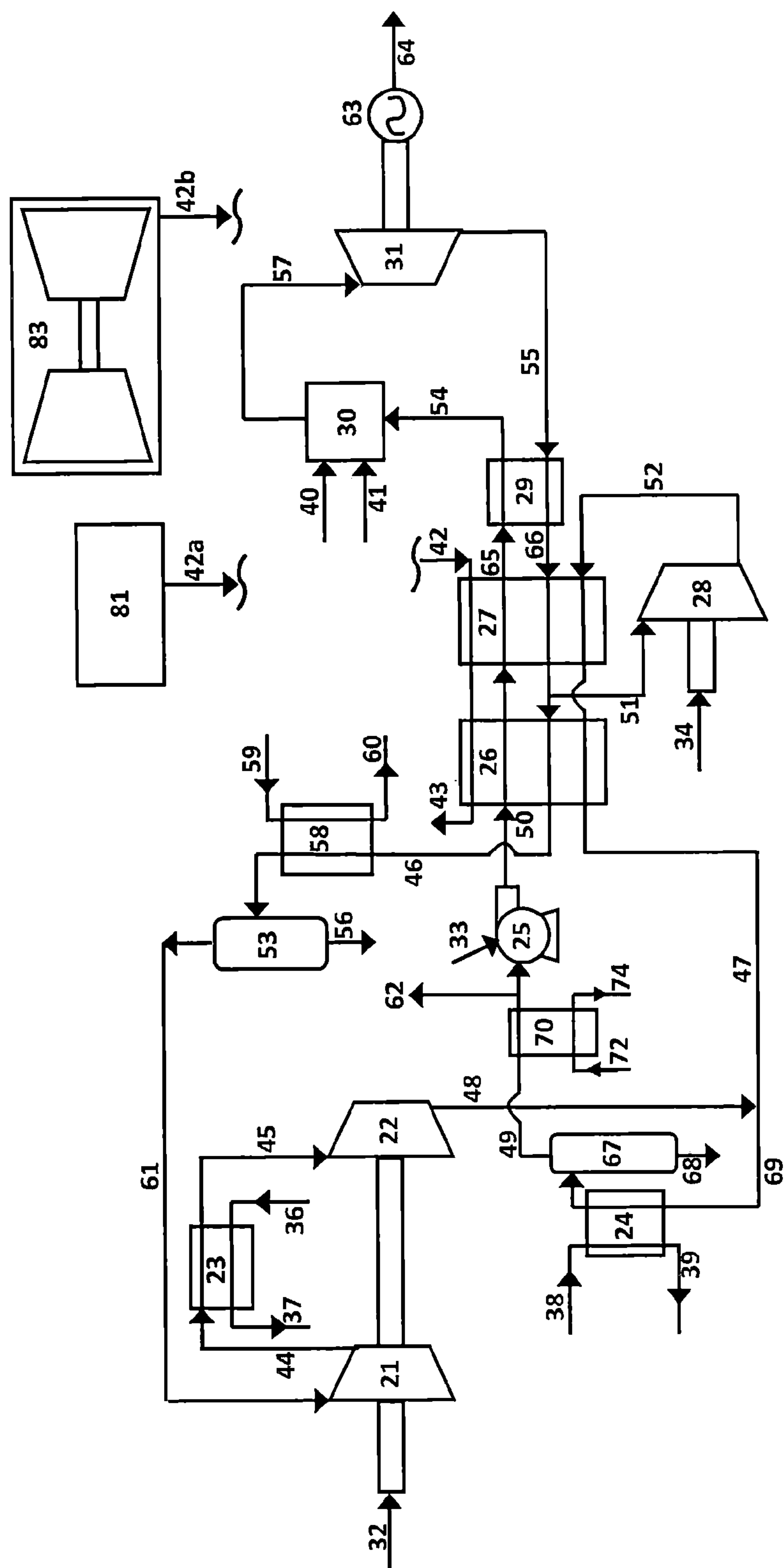


圖
3
策