

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

F01K 23/06 (2006.01)

F01K 21/04 (2006.01)

F25J 3/04 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 03803582.0

[45] 授权公告日 2007 年 11 月 14 日

[11] 授权公告号 CN 100348839C

[22] 申请日 2003.2.10 [21] 申请号 03803582.0

[30] 优先权

[32] 2002. 2. 11 [33] US [31] 60/356,105

[86] 国际申请 PCT/IB2003/000438 2003. 2. 10

[87] 国际公布 WO2003/069132 英 2003. 8. 21

[85] 进入国家阶段日期 2004. 8. 9

[73] 专利权人 液体空气乔治洛德方法利用和研究的具有监督和管理委员会的有限公司

地址 法国巴黎

[72] 发明人 彼得罗·迪赞诺 弗雷德里克·菲耶斯科特·麦克亚当 奥维迪乌·马林

[56] 参考文献

US5724805A 1998. 3. 10

US4434613A 1984. 3. 6

US3276203A 1966. 10. 4

审查员 吴 斐

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事务所

代理人 王彦斌

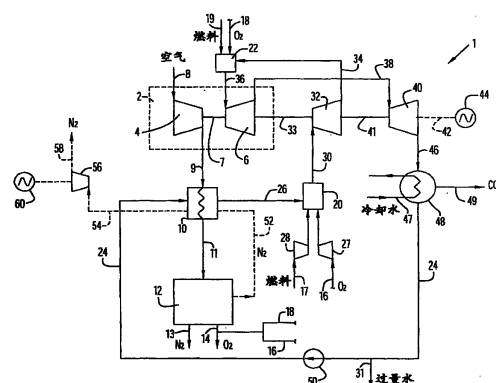
权利要求书 6 页 说明书 12 页 附图 3 页

[54] 发明名称

组合的空气分离和氧助发电系统以及利用该系统向空气分离单元提供动力的方法

[57] 摘要

组合的空气分离和氧助发电系统包括空气分离单元(12)和燃气轮机(6)，该燃气轮机(6)包括空气压缩机(4)，以便向空气分离单元(12)提供压缩空气。该系统还包括燃气轮机膨胀器(6)和至少一个额外的驱动空气压缩机(4)的气轮机(40)，而且还包括至少一个用于向膨胀器(6)提供驱动气体的燃烧单元(22)和额外的气轮机。由空气分离单元(12)产生的一部分氧气输送到该燃烧器(22)，以便产生由膨胀器和额外气轮机所用的驱动气体，例如利用燃烧器的循环水或者蒸汽控制气轮机的入口温度。



1. 一种组合的空气分离和发电系统，包括：

燃气轮机单元，包括空气压缩机、连接于该空气压缩机的燃气轮机膨胀器和燃烧单元，该燃烧单元位于该膨胀器的上游，用于向该膨胀器输送驱动气体；

空气分离单元，该单元接收空气压缩机的压缩空气，并产生至少两种产品气流，该产品气流主要包括氧气，由该空气分离单元产生的一部分氧气流输送到燃烧单元；

第二气轮机，连接于空气压缩机，位于膨胀器的下游，用于接收从该膨胀器排出的驱动气体；以及

第三气轮机，连接于空气压缩机，用于在驱动气体流过该第三气轮机时驱动空气压缩机；

其中，当驱动气体流过该膨胀器和第二气轮机时，该膨胀器和第二气轮机均驱动空气压缩机。

并且其中，该燃烧单元位于第三气轮机的下游，接收从第三气轮机排出的驱动气体。

2. 如权利要求1所述的系统，其特征在于，还包括：

第二燃烧单元，直接配置在第三气轮机的上游，向第三气轮机输送驱动气体。

3. 如权利要求2所述的系统，其特征在于，还包括：

热交换器，配置在空气压缩机的下游和空气分离单元的上游，用于接收和冷却从空气压缩机排出的压缩空气，然后再将该压缩空气输送到该空气分离单元；

其中，包含水的冷却流输入到热交换器，以便冷却压缩空气，包含水和蒸汽中至少一种的排出流从热交换器输送到第二燃烧单元。

4. 如权利要求3所述的系统，其特征在于，第二燃烧单元产生燃烧产品，该燃烧产品包括输送到第三气轮机的二氧化碳和蒸汽。

5. 如权利要求4所述的系统，其特征在于，由空气分离单元生

产的第二部分氧气流输送到第二燃烧单元。

6. 如权利要求4所述的系统，其特征在于，控制从热交换器输送到第二燃烧单元的排出气流的流量，以便在第三气轮机的入口达到预定的供气温度。

7. 如权利要求3所述的系统，其特征在于，上述第二燃烧单元包括锅炉，该锅炉接收从热交换器排出的排放气流，并加热该排放气流，以在预定温度和压力下向第三气轮机的入口提供包含蒸气的气流。

8. 如权利要求3所述的系统，其特征在于，使排出第二气轮机的排出气流再循环，由此得到输入到热交换器的冷却气流。

9. 如权利要求8所述的系统，其特征在于，从第二气轮机排出的气流包含蒸汽和二氧化碳，该系统还包括：

冷凝器，位于第二气轮机的下游和热交换器的上游，其中，分离器接收从第二气轮机排出的气流，并使该排出的气流分离成包含二氧化碳的产品气流和输送到热交换器的冷却气流。

10. 如权利要求1所述的系统，其特征在于，第二气轮机的操作压力不大于1.5巴（绝对）的压力，第三气轮机的压力至少为15巴（绝对）的压力。

11. 如权利要求1所述的系统，其特征在于，该系统的操作状态可受控制，使第三气轮机的入口温度为400~600℃，第三气轮机的入口压力为50~150巴（绝对），而第三气轮机的出口压力为10~30巴（绝对）。

12. 如权利要求1所述的系统，其特征在于，该系统的操作状态可受控制，使得膨胀器的入口温度为800~1400℃，膨胀器的入口压力为10~30巴（绝对），而膨胀器的出口压力为1巴（绝对）。

13. 如权利要求1所述的系统，其特征在于，该系统的操作状态可受控制，使得第二气轮机的入口温度为300~700℃，第二气轮机的入口压力为1巴（绝对），而第二气轮机的出口压力为0.05~0.30巴（绝对）。

14. 如权利要求1所述的系统，其特征在于，还包括：

发电机，连接于第二气轮机，其中，当驱动气体流过第二气轮机时，该第二气轮机除驱动空气压缩机外，还驱动发电机。

15. 如权利要求1所述的系统，其特征在于，该空气分离单元还包括主要由氮气构成的高压气流，该系统还包括：

热交换器，用于将高压氮气流体的温度升高到 $400 \sim 1400^{\circ}\text{C}$ 之间的温度；

氮气气轮机，其配置成接收从热交换器排出的至少一部分高温高压氮气流；

其中，当高压氮气流流过氮气气轮机时，该氮气气轮机至少驱动空气压缩机和连接于氮气气轮机的发电机之一。

16. 如权利要求1所述的系统，其特征在于，还包括：

第三气轮机与发电装置串联，以接收发电装置排出的驱动气体，并产生该发电装置所用动力，第三气轮机包括至少一个取出口，该取出口将输入到第三气轮机的驱动气体的一部分在等于燃烧单元的操作压力的压力下输送到燃烧单元。

17. 一种通过组合发电系统向空气分离单元提供动力的方法，该组合发电系统包括第一气轮机、第二气轮机、空气压缩机、第三气轮机和燃烧单元，其中，第一、第二和第三气轮机连接于空气压缩机，该方法包括：

使氧气与碳氢化合物燃料在燃烧单元中发生反应，产生用于第一气轮机的驱动气体；

将该驱动气体从燃烧单元直接输送到第一气轮机，然后输送到第二和第三气轮机，使得空气压缩机被驱动；

将第三气轮机排出的驱动气体输送到燃烧单元；

由于空气压缩机由第一和第二气轮机驱动，所以利用空气压缩机产生压缩空气流；

将所述压缩空气流从空气压缩机输送到空气分离单元；

在所述空气分离单元中处理该压缩空气流，生产出包括主要为氧气流的至少两种产品气流；以及

将由空气分离单元产生的一部分氧气流输送到燃烧单元。

18. 如权利要求 17 所述的方法，其特征在于，该系统还包括第二燃烧单元，该方法还包括：

在第二燃烧单元中产生用于第三气轮机的驱动气体；以及
将第二燃烧单元的驱动气体输送到第三气轮机。

19. 如权利要求 18 所述的方法，其特征在于，该系统还包括位于空气压缩机下游和空气分离单元上游的热交换器，该方法还包括：

将空气压缩机的压缩空气输送到热交换器；

用包括水的冷却流冷却输送到热交换器的压缩空气；

将热交换器排出的压缩空气输送到空气分离单元；以及

将热交换器排出的冷却流输送到第二燃烧单元，其中，从空气压缩单元排出的冷却流包含水和蒸汽中的至少一种流体。

20. 如权利要求 19 所述的方法，其特征在于，被输送到第三气轮机的驱动气体包括蒸汽和二氧化碳，该方法还包括将空气分离单元生产的第二部分氧气流输送到第二燃烧单元。

21. 如权利要求 20 所述的方法，其特征在于，还包括：

控制从热交换器排放到第二燃烧单元的冷却流流量，以便使预定温度的驱动气体输送到第三气轮机。

22. 如权利要求 19 所述的方法，其特征在于，该第二燃烧单元包括锅炉，该方法还包括：

在锅炉中加热从热交换器排出的冷却流，以便产生在预定的温度和压力下作为驱动气体被输送到第三气轮机的蒸汽。

23. 如权利要求 19 所述的方法，其特征在于，该系统还包括在第二气轮机紧下游的冷凝器，从第二燃气轮机排出的气体包括蒸汽和二氧化碳，该方法还包括：

将第二气轮机的排出气体送到该冷凝器；以及

将排出气体分离成包括二氧化碳的产品气流和再循环到热交换器的冷却流。

24. 如权利要求 17 所述的方法，其特征在于，第二气轮机的操作

压力不超过 1.5 巴(绝对),而第三气轮机的操作压力至少为 15 巴(绝对)。

25. 如权利要求 17 所述的方法,其特征在于,还包括:

控制该系统的操作状态,使得第三气轮机的入口温度为 400 ~ 600℃,第三气轮机的入口压力为 50 ~ 150 巴(绝对),而第三气轮机的出口压力为 10 ~ 30 巴(绝对)。

26. 如权利要求 17 所述的方法,其特征在于,还包括:

控制该系统的操作状态,使得第一气轮机的入口温度为 800 ~ 1400℃,第一气轮机的入口压力为 10 ~ 30 巴(绝对),而第一气轮机的出口压力为 1 巴(绝对)。

27. 如权利要求 17 所述的方法,其特征在于,还包括:

控制该系统的操作状态,使得第二气轮机的入口温度为 300 ~ 700℃,第二气轮机的入口压力为 1 巴(绝对),而第二气轮机的出口压力为 0.05 ~ 0.30 巴(绝对)。

28. 如权利要求 17 所述的方法,其特征在于,该第二气轮机还连接于发电机,该方法还包括:

当驱动气体流过第二气轮机时,用第二气轮机驱动发电机进行发电。

29. 如权利要求 17 所述的方法,还包括:

用空气分离单元生产主要由氮气构成的高压气流;

使该主要为氮气的高压气流流过热交换器,以加热该主要为氮气的高压气流;

将加热的主要为氮气的高压气流输送到氮气气轮机,以便驱动空气压缩机和连接于氮气气轮机的发电机中至少一种装置以进行发电。

30. 一种通过与发电装置相结合的组合式发电系统向空气分离单元提供动力的方法,该组合式发电系统包括第一气轮、第二气轮机、空气压缩机和燃烧单元,其中,第一和第二气轮机与空气压缩机相结合,发电装置包括第三气轮机,该方法包括:

使氧气与碳氢化合物燃料在燃烧单元中发生反应,产生用于第一

气轮机的驱动气体;

将该驱动气体从燃烧单元直接输送到第一气轮机,然后输送到第二气轮机,从而驱动空气压缩机;

由于空气压缩机由第一和第二气轮机驱动,故利用空气压缩机产生压缩空气流;

将该压缩空气流从空气压缩机输送到空气分离单元;

在所述空气分离单元中处理该压缩空气流,以生产出包括主要为氧气流的至少两种产品气流;以及

将由空气分离单元产生的一部分氧气流输送到燃烧单元;以及

将从发电装置排出的驱动气体输送到第三气轮机以产生用于该发电装置的动力;以及

在第三气轮机中,从至少一个抽出口抽出一部分驱动气体,该驱动气体的预定压力与燃烧单元的操作压力相同;以及

将从第三气轮机抽出的驱动气体输送到燃烧单元,以形成一部分输送到第一气轮机的驱动气体。

组合的空气分离和氧助发电系统 以及利用该系统向空气分离单元提供动力的方法

本发明涉及与氧助发电系统结合的空气分离单元以及利用所述系统向空气分离单元提供动力的方法。

在工业上，为了生产大量氧气和氮气，一般优先采用低温空气分离法，这种方法可以用在各种不同的发电系统中。然而，低温空气分离系统的缺点是，系统操作的电力成本高到总操作成本的 50%，其中大部分的电力由配置在空气分离装置上游的主空气压缩机消耗掉。因此，主空气压缩机的动力成本极大地影响了空气分离单元生产产品的总的生产成本。为了降低系统操作的电力成本，很需要优化驱动主空气压缩机的气轮机结构。

在将空气分离单元与发电作业组合成一种形式和另一种形式的现有技术中已知各种各样的不同系统。例如 Marin 等提出的美国专利 NO.6282901 说明一种组合的空气分离工艺，该工艺生产富含氧气的气流和富含氮气的气流。富含氮气的气流在连接于第一锅炉的第一热交换器中被加热，然后用于发电。富含氧气的气流和燃料一起引入到连接于第一锅炉的燃烧器，由此产生烟气，并将从锅炉排出的至少一部分烟气用来发电。

Brugerolle 的美国专利 NO.6202442 说明一种组合的发电系统，该系统中将燃气轮机压缩机流出的至少一部分空气输送到空气分离单元，而将另一部分输送到燃气轮机的燃烧器。从空气分离单元排出的氮气流与燃气轮机燃烧器的排出气流混合，然后将其输送到燃气轮机膨胀器。Brugerolle 的系统可以发电，也可以生产富氧气体。

Plumley 等的美国专利 NO.4785622 公开一种组合的煤气化装置和联合循环系统，该循环系统利用一部分从燃气轮机空气压缩机部分放出的压缩气体，供应连接于煤气化装置的氧气装置所需的压缩空气。利用从燃气轮机的涡轮部分排出的高温气体来产生蒸汽，然后将产生的蒸汽输送到蒸气轮机，以便除开由燃气轮机产生的输出外，还产生机械输出。

为了补偿送到氧装置而失去的压缩空气，将燃气轮机送出的蒸汽加在输送到燃气轮机燃烧器部分的压缩空气和燃料中。Plumley 等的系统不需要单独的压缩机向制氧装置提供压缩空气。

Demetri 提出的美国专利 NO. 6148602 说明一种可以分离二氧化碳的加固体燃料的发电系统，该系统包括空气压缩机和用单个燃气轮机驱动的氧压缩机。该空气压缩机将压缩空气输送到空气分离器，从该空气分离器流出的基本上纯的氧气由氧压缩机进一步压缩，然后分成两股气流。将第一股气流输送到煤气发生器，而将第二股气流输送到燃气轮机的燃烧器。第一气流与煤气发生器中的固体燃料混合，转化成送到燃烧器的可燃性气体。同时，还在燃烧器中喷射水，使燃烧器流出的二氧化碳和蒸汽的排出气流进入燃气轮机，以便驱动燃气轮机和发电。

由 Bolland 等说明的系统 (Energy Conversion & Mgmt, Volume 33, No. 5-8, 1992, pages 467-475) 包括燃烧器，该燃烧器接收从空气分离装置来的氧气，并使该氧气与燃料气体反应，随后将燃烧产物送入到气轮机。使水流穿过热交换器，冷却空气压缩机排出的压缩空气，然后将压缩空气输送到空气分离装置，随后，将热交换器排出的水或者蒸汽输送到燃烧器，以便将燃烧器的产品冷却到允许的气轮机入口温度。

由 Yantovskii 说明的 GOOSTWEG 发电装置 (World Clean Energy Conference, Geneva, Switzerland, November 1991, pages 571-595) 包括第一燃烧室，该燃烧室接收从空气分离机来的氧气、碳氢化合物燃料和水，生产输送到高压气轮机的二氧化碳和水蒸气驱动气体。在第二燃烧室中，重新加热高压气轮机的放出气流，然后将其输送到中压气轮机，随后在第三燃烧室中再加热，并输送到低压气轮机。利用除气装置使二氧化碳与水分离，并加热分离出的水，使其再循环回到第一燃烧室。

尽管各个上述系统具有某种有效性和优点，但是仍需要提供一种组合的具有优选结构的空气分离发电系统，从而降低对动力的要求，由此降低与空气分离单元操作相关的操作成本。

因此本发明的目的是提供一种组合的空气分离发电系统，该系统可以在系统操作期间降低动力的需求。

本发明的另一目的是制造一种空气分离装置的发电系统，使得与用常规现场发电装置来操作空气分离单元的方法相比，可以降低空气分离单元的动力要求。

本发明的再一目的是提供一种组合的空气分离发电系统，该系统可以有效地将系统操作期间的热聚合起来，并优化发电的气轮机结构，以便向空气分离单元的主空气压缩机提供动力。

本发明的又一目的是提供一种组合的空气分离发电系统，该系统可以提供零排放作业。

可以一个一个单独地和/或者联合地达到上述目的，本发明不应当解释为需要同时达到两个或多个目的，除非下面权利要求书明确地要求。

按照本发明，组合的空气分离氧助发电系统包括空气分离单元和燃气轮机，该燃气轮机包括连接于燃气轮机膨胀器的空气压缩机和向该膨胀器提供驱动气体的燃烧单元。该空气压缩机将压缩空气输送到空气分离单元。该系统还包括至少一个额外的连接于空气压缩机的气轮机。当驱动气体通过膨胀器和一个或多个额外气轮机中的各个气轮时，该空气压缩机由该膨胀器和一个或者多个额外的气轮机驱动。该空气分离单元生产至少两个产品气流，包括主要的氧气流。由空气分离单元生产的一部分氧气流输送到燃气单元。可以配置额外的燃烧单元，以便产生温度和压力选定的驱动气体，使其输送到膨胀器和一个或多个额外的气轮机。最好采用再循环水或者系统至少一个燃烧单元驱动气体中的蒸汽来控制气轮机的温度状态。

下面参考附图详细说明具体实施例，由此可以明显看出本发明的上述以及其它一些目的、特征和优点，附图的不同图中，采用相同的编号表示相同的装置。

图1是本发明组合的空气分离单元和发电系统的作业流程图。

图2是本发明组合的空气分离单元和发电系统另一实施例作业流程图。

图3是与本发明的与发电装置组合的空气分离单元作业流程图。

组合的空气分离单元和发电系统包括空气分离单元（ASU），该单元接收从燃气轮机空气压缩机来的压缩空气，该燃气轮机还包括（例如通过轴）连接于空气压缩机的燃气轮机膨胀器，以便在系统操作期间将膨胀器的机械能直接输送到压缩机，还可以将一个或多个额外的气轮机以优选的方式组合到系统中，以便另外向空气压缩机输送动力，从而以有效和节省成本的方式向 ASU 输送空气。用于这种系统的例示性 ASU 是低温系统。然而该 ASU 可以包括任何一种或多种适合于将两种或多种混合气体成分和/或液体成分分离的系统，这些系统包括膜系统和吸收系统，但不限于这些系统。

发电系统最好包括一个或者多个燃烧单元，以便向燃气轮机膨胀器和一个或者多个额外的气轮机输送气体。适合用在本发明中的燃烧单元有助于氧和碳氢化合物燃料的燃烧，从而可以提高用来驱动气轮机的驱动气体（例如二氧化碳和/或蒸汽）的温度。可以用在本发明中的燃烧单元的例示类型包括燃烧器、再加热器和锅炉，但不限于这些。当采用例如燃烧器和再加热器时，燃烧产物（蒸汽和二氧化碳）最好构成气轮机的至少部分驱动气体。在采用例如锅炉时，可利用燃烧产物在锅炉中将驱动气体（例如蒸汽）加热到要求的温度和压力，然后再输送到气轮机。

在图 1 的例示性系统中，两个蒸汽轮机与燃气轮机膨胀器一起连接于空气压缩机。还配置两个燃烧单元，即高压燃烧器和再加热器，以便将处于选定温度和压力的驱动气体输送到燃气轮机膨胀器和蒸汽轮机。参照图 1，系统 1 包括燃气轮机单元 2 和低温 ASU12，该 ASU 接收燃气轮机单元的压缩空气。该燃气轮机单元 2 包括空气压缩机 4 和经转轴 7 连接于该压缩机的燃气轮机膨胀器 6。如下所述，该转轴 7 通过输送到燃气轮机膨胀器的气体驱动。该空气压缩机接收空气流 8，并将该空气流压缩到适当压力，然后输送到 ASU12。从空气压缩机排出的被压缩空气流其绝对压力最好在约 5~25 巴的范围内。位于空气压缩机 4 下游的是热交换器 10，该热交换器接收空气压缩机排出的压缩空气流 9，并用水流 24 输送流水将该压缩空气流冷却到要求的温度，该水流输送到热

交换器的单独的入口。该热交换器最好将压缩空气流冷却到约 20~50℃ 的温度。热交换器 10 的空气流出口连接于 ASU12, 将冷却的压缩空气流 11 输送到该 ASU。

该 ASU 生产分开的分别主要由氮气和氧气构成的产品气流 13 和 14。还可以选择生产由其它气体产品构成的额外气流(例如氩气、氦气等)。气体产品气流可以输送到其它装置或者储存装置, 或者以要求的方式利用该气体产品的装置。从主要的氧气产品流 14 中分出部分氧气, 将其输送到燃烧单元, 以便产生驱动膨胀器和气轮机的驱动气体。具体是, 从主要氧气产品气流分出第一氧气流 16, 将其输送到高压(HP)燃烧器 20, 同时还从主要氧气流中分出第二氧气流 18, 将其输送到再加热器 22, 如下所述。

高压燃烧器 20 作为成为可以接收 ASU 来的第一氧气流 16 以及碳氢化合物燃料流 17。本文所说的“高压”, 除非另有说明, 一般是指至少约为 15 巴(绝对)的操作压力。同样, 本文所用的术语“低压”, 除非另有说明, 一般是指不大于 1.5 巴(绝对)的操作压力。碳氢化合物燃料气流包括任何可燃的碳氢化合物燃料源, 该源包括天然气源、合成气体源和石油加工气体源, 但不限于这些气体源。第一氧气流和碳氢化合物燃料气流在高压燃烧气中混合并反应, 产生蒸汽和二氧化碳产物。氧气和碳氢化合物气流 16 和 17 输送到压缩机 27 和 28, 然后进入燃烧器 20。利用电能驱动压缩机 27 和 28, 或者换一种方式, 将系统 1 以适当的方式作成可以通过任何一个或者多个燃气轮机膨胀器 6 和/或下述的高压或低压蒸汽轮机将机械动力输送到压缩机 27 和 28。进入高压燃烧器的氧气和碳氢化合物燃料气流其绝对压力最好在 25~150 巴的范围内。

热交换器 10 的水/蒸汽出口连接于高压燃烧器 20, 从而可以将水和/或蒸汽流 26 (即用于冷却压缩空气的气流) 输送到高压燃烧器, 使其与进入的氧气和碳氢化合物燃料气流混合。控制水流 26 进入燃烧器 20 的流量, 使得从燃烧器排出的输出气流 30 达到要求温度。燃烧器输出气流的温度最好在 400~600℃ 之间。在输出气流 30 中的燃烧器排出产

物主要是蒸汽和二氧化碳。

位于燃烧器下游的用于接收燃烧器排出气流 30 的是高压 (HP) 蒸汽轮机 32。进入高压蒸汽轮机的气流其温度最好在约 400~600℃ 的范围内,其压力最好在 50~150 巴的范围内。高温蒸汽轮机包括转轴 33,该转轴通过高压蒸汽轮机中气流 30 的膨胀而受到驱动。高压蒸汽轮机的转轴 33 连接于燃气轮机膨胀器 6 的转轴 7。因此高压蒸汽轮机通过与燃气轮机的连接间接连接于空气压缩机。另外,应注意到,高压蒸汽轮机可以以另外的方式连接于空气压缩机,以实现将动力传送到空气压缩机。该高压蒸汽轮机的出口排出输送到再加热器 22 的蒸汽和二氧化碳气流 34。该高压排出气流其压力最好在约 10~30 巴之间。

除接收从高压蒸汽轮机出口来的排出气流 34 之外,再加热器 22 还接收从主要氧气产物气流分出的第二氧气流 18 (如上所述) 以及碳氢化合物燃料气流 19。该再加热器的出口将具有预定高温的主要由二氧化碳和蒸汽构成的气流 36 输送到燃气轮机膨胀器 6 的入口。应当注意到,可选择性控制高压蒸汽轮机排出气流 34 的出口压力和再加热器排出气流 36 的出口温度 (例如控制输送到高压蒸汽轮机和再加热器之间的氧气与碳氢化合物燃料气流的流量和/或压力,控制输送到高压燃烧器的包含水和/或蒸汽的流体 26 的流量等),从而在该气流 36 进入燃气轮机膨胀器时达到要求的温度和压力范围。进入燃气轮机膨胀器的入口气流其入口温度最好在约 800~1400℃ 之间,而其绝对压力约在 10~30 巴之间,从燃气轮机膨胀器排出的输出气流其绝对压力最好约为 1 巴。

低压 (LP) 蒸汽轮机 40 配置在燃气轮机膨胀器 6 的下游,用于接收该燃气轮机膨胀器排出的排出气流 38。该低压蒸汽轮机包括转轴 41,该转轴连接于高压蒸汽轮机 32 的转轴 33。该转轴 41 通过流过低压燃气轮机气流的膨胀而被驱动。因此低压蒸汽轮机通过与高压蒸汽轮机的连接间接连接于空气压缩机。另外,应当注意到,低压蒸汽轮机可以用任何适当的方式连接于空气压缩机,使得可以将动力输送到空气压缩机。

低压蒸汽轮机可以选择性包括另一转轴 42,该转轴连接于发电机 44,从而除开产生用来操作空气压缩机 4 的机械动力以外,还可发电。

该低压蒸汽轮机的输入气流其温度在约 300 ~ 700℃ 之间, 而其绝对压力约为 1 巴, 从低压蒸汽轮机排出的输出气流或者排出气流其绝对压力最好在约 0.05 ~ 0.30 巴之间。

冷凝器 48 接收低压蒸汽轮机 40 排出的排出气流 46, 并利用封闭的冷却水水流 47 使气流 46 分离成二氧化碳气体和主要是水的冷凝物。另外还应该注意, 可以采用任何其它合适的分离装置, 将低压蒸汽轮机排放气流中的二氧化碳与水基本上分离。从冷凝器排出二氧化碳气流 49, 将其作为一个产物输送到其它装置, 或者输送到储存装置, 或者输送到以要求方式利用的装置, 同时使水流 24 再循环到热交换器 10, 以便冷却从空气压缩机 4 排出的压缩空气流。可以在水流上配置适当的泵装置 50, 将水以要求的流量和压力输送到热交换器。另外, 可以在冷凝器 48 和热交换器 10 之间的适当位置从水流 24 中排出过量的水 31。

在操作时, 空气吸入空气压缩机 4, 然后被加压, 并在选定的压力 (最好约为 5 ~ 25 巴 (绝对)) 下排放到热交换器 10。该热交换器将该压缩的空气冷却到选定的温度 (最好约为 20 ~ 50℃), 并将气流 11 排到 ASU12, 至少由主要氮气和主要氧气组成的两个产品气流 13 和 14 从 ASU 排出, 一部分氧气流 14 分成第一和第二气流 16 和 18, 该气流分别输送到高压燃烧器 20 和再加热器 22。用于冷却热交换器 10 中压缩空气流 9 的水流 24 从热交换器排出, 形成水流 26, 该水流包括水和/或蒸汽, 并以选定的流量输送到再加热器。

压缩第一氧气流 16 (最好压缩到约 25 ~ 150 巴的绝对压力), 并随压缩的碳氢化合物燃料气流 17 和由水和/或蒸汽组成的水流 26 一起输送到燃烧器 20。从高压燃烧器排出的排放气流 30 主要包括二氧化碳和蒸汽, 将此气流 (例如约 400 ~ 600℃ 的温度和绝对压力在约 50 ~ 150 巴的压力) 输送到高压蒸汽轮机 32, 以便驱动转轴 33, 该转轴连接于燃气轮机的转轴 7。将高压蒸汽轮机排放的气流 (其绝对压力最好约在 10 ~ 30 巴之间) 送到再加热器 22, 在该加热器中, 该排出气流 34 与第二氧气流 18 和碳氢化合物燃料气流 19 化合, 产生主要由二氧化碳和蒸汽构成的排出气流 36 (其温度最好约为 800 ~ 1400℃, 而其绝对压力最

好约为 10~30 巴)。该气流 36 进入燃气轮机膨胀器 6, 并驱动燃气轮机的转轴 7, 该转轴连接于空气压缩机 4。从燃气轮机膨胀器排出的冷却气流 38 (其温度最好约在 300~700℃之间, 而其绝对压力约为 1 巴) 被输送到低压蒸汽轮机 40。该低压蒸汽轮机驱动连接于高压蒸汽轮机转轴 33 的转轴 41, 并选择性驱动连接于发电机 44 的转轴 42。从低压蒸汽轮机排出的气流 46 (其绝对压力约在 0.05~0.30 巴之间) 输送到冷凝器 48, 以便从系统中除去二氧化碳, 形成二氧化碳气流 49。冷凝的蒸汽 24 主要包括水, 从冷凝器中排出, 并再循环到热交换器 10。

应当注意到, 还可以这样进行发电, 方法是从 ASU 的高压柱抽出高压氮气 (在图 1 中表示为气流 52), 在热交换器 10 中加热该氮气流 (最好加热到约 400~1400℃的温度), 然后将加热的高压氮气气流 (图 1 中表示为气流 54) 输送到氮气气轮机 56, 从而驱动发电机 60。在本文中所用的术语“高压氮气”是指绝对压力至少为 3 巴的氮气。另外或者除驱动发电机而外, 该氮气气轮机还可以以类似的方式连接于空气压缩机, 从而直接向发电机提供另外的机械动力。然后将膨胀的氮气流 (在图 1 中表示为气流 58) 作为产品输送到其它系统或者储存装置, 或者输送到以要求方式应用它的装置。

燃气轮机膨胀器、高压和低压蒸汽轮机分别经其相应的气轮机转轴连接于发电机, 以便在操作期间直接驱动燃气轮机压缩机, 而同时可以消除通常在机械能和电能转换时产生的动力损失 (即将气轮机转轴的动力转换为电力, 然后再将电力转换成驱动空气压缩机的机械动力)。因此系统 1 可以采用优化的用气体作动力的可进行零排放作业的多气轮机系统, 该系统用 ASU (例如氧气和氮气) 和发电系统 (例如二氧化碳) 两种装置生产多个产品。与常规的 ASU 系统相比, 该气轮机系统还尽量增大了循环效率, 与常规 ASU 系统比较降低了燃料和氧气成本。

在另一实施例中, 采用锅炉替代图 1 中所示系统的高压燃烧器, 该锅炉产生输送到高压蒸汽轮机的高压蒸汽。这种系统的例示性实施例示于图 2。具体是, 系统 100 基本上与上述图 1 所示系统相似, 高压和低压蒸汽轮机相对于燃气轮机膨胀器的配置是相同的。然而, 系统 100 包

括串联在热交换器 10 和高压蒸汽轮机 32 之间的锅炉 102, 其中水流 26 包括水和/或蒸汽, 该水流从热交换器排出, 输送到锅炉的入口。碳氢化合物燃料气流 103 和空气流 101 也输送到锅炉, 从而将蒸汽流 26 加热成高压蒸汽, 该高压蒸汽作为气流 104 从锅炉排出, 从锅炉排出的烟气形成气流 105。由锅炉排出的高压蒸汽(其温度最好在约 400~600℃, 而其绝对压力约为 50~150 巴)输送到高压蒸汽轮机 32, 从锅炉排出的蒸汽流 106 输送到再加热器 22。从图 2 可以清楚看出, 系统 100 按另一种类似于上述系统 1 的操作方式操作。

图 2 的锅炉系统比图 1 的燃烧器系统消耗的氧气少, 并且生产较少的二氧化碳产品, 如下面的表 1 所示。然而由于其效率降低, 所以锅炉系统比燃烧器系统需要更多碳氢化合物燃料。另外, 和燃烧器系统不同, 锅炉系统不是零排放操作作业。然而, 假定系统 100 的锅炉其效率约为 90%, 则与图 1 所示的系统相比, 在系统 100 中生产单位量氧气所需的碳氢化合物燃料量较少。

本发明组合的空气分离和氧助发电系统与常规 ASU 装置相比降低了动力成本, 在常规 ASU 装置中, 主要的空气压缩机由马达驱动, 该马达接收电网的电力或者接收现场发电装置(例如废热发电装置或者联合的循环发电装置)的电力。另外, 图 1 和图 2 所示各个系统的燃气轮机膨胀器和蒸汽轮机其操作温度和压力完全在现有商品装置的设计范围内。因此, 本发明不需要使用特别设计的非常规装置来使系统进行操作。

下面根据每天氧气产量为 2000 公吨的装置, 用表列出本发明与具有现场发电设备的常规 ASU 相比较的有利之点。具体是, 图 1 和图 2 所示的系统完全与接有发电装置的常规 ASU 装置相当。

组合的 ASU 系统与常规 ASU 的操作参数比较

操作参数	常规 ASU	系统 1 (图 1)	系统 100 (图 2)
生产的氧气 (总重)	2000mt/day	2000mt/day	2000mt/day
消耗的氧气	无	360mt/day	244mt/day
生产的氧气 (净重)	2000mt/day	1640mt/day	1756mt/day
空气压缩机功率	31.5 MW	44.9MW	44.9MW
消耗的天然气	7793Nm ³ /hr	5763Nm ³ /hr	5969Nm ³ /hr
每吨氧消耗的天然气	93.5Nm ³ /mt	84.3 Nm ³ /mt	81.6Nm ³ /mt
生产的二氧化碳	无	247mt/day	167mt/day

mt/day=吨/天

MW=兆瓦

Nm³/hr=标准立方米/小时

Nm³/mt=标准立方米/吨

根据以下其它参数计算上面列举的操作参数:

(1) 常规的 ASU 包括燃天然气的循环, 其净效率 (8500Btu/kWh) 为 40%, 压缩机的排出压力为 16 巴 (绝对), 四级压缩机相互冷却;

(2) 系统 1 (图 1) 包括燃天然气的循环, 高压蒸汽轮机的入口温度为 550℃, 绝对压力为 150 巴 (绝对), 燃气轮机入口温度为 980℃, 绝对压力为 16 巴, 低压蒸汽轮机出口压力为 0.07 巴 (绝对), 压缩机排放压力为 16 巴 (绝对), 没有压缩机相互冷却;

(3) 系统 100 (图 2) 包括烧天然气的锅炉, 90%的效率, 气轮机和压缩机的状态与系统 1 第“(2)”条相同。

如上述列举的操作条件所示, 基于每天生产 2000 吨氧气的装置, 图 1 和图 2 两个系统与常规的具有现场发电机装置的 ASU 相比, 天然气消耗总量以及生产每吨氧气消耗的天然气均较小。另外, 图 1 和图 2 的所示的系统可以生产出售的二氧化碳产品, 从而降低了系统操作期间的燃料费用, 因此降低了 ASU 产品的总价格。

本发明的组合空气分离氧助发电系统还可以组合在现有的发电装置中。这种系统的例示性实施例示于图 3, 在图 3 中, 发电装置包括兰

金蒸汽循环，该循环具有至少一个装有蒸汽抽出口的高压蒸汽轮机。可以组合进空气分离单元的例示性发电装置包括烧粉化煤的装置、烧燃气的联合循环装置以及结合煤气发生器的联合循环装置（IGCC 装置），但不限于这些装置。该系统特别利于需要 ASU 产品的发电装置（例如 IGCC 装置，该装置需要大量工作氧气）。

参考图 3，ASU212 接收燃气轮机单元 202 的压缩气体，其接收方式基本上与上述图 1 和图 2 所示系统的方式相同。燃气轮机单元 202 包括通过转轴 207 连接于燃气轮机膨胀器 206 的空气压缩机 204。空气流 208 进入该空气压缩机，并在要求的压力下排出气流 209，该压缩的空气流 209 在热交换器 210 中冷却用冷却水流 252 或者从下面说明的发电装置 250 的锅炉供水。用于冷却该压缩空气流的水流从热交换器排出，形成水流 254，并输送到锅炉或者发电装置的补热蒸汽发生器（未示出）。冷却压缩空气的排出气流 211 进入 ASU212 的入口，使得空气成分被分离成主要氮气流 213 和主要氧气流 214，这些气流从 ASU 排出。主氧气流部分 214 分流出气流 218，输送到再加热器 222，以便向燃气轮机膨胀器输送驱动气体，如下所述。

在发电装置（总的用虚线 250 示出）中，蒸汽从高压蒸汽轮机 251 的排出口抽出，该高压蒸汽轮机构成发电的兰金蒸汽循环的一部分。为简便起见，在图 3 的发电装置中，仅示出蒸汽轮机 251。高压蒸汽流 260 从发电装置的锅炉或者补热蒸汽发生器输送到高压蒸汽轮机 251 的入口。而气流 262 从高压蒸汽轮机的主要出口排到发电装置的冷凝器，该高压蒸汽轮机产生装置用的电力。另外，蒸汽流 256 从高压蒸汽轮机 251 的至少一个排出口排出，并输送到再加热器 222。可选择从高压蒸汽轮机排出蒸汽的位置，使得送到再加热器的蒸汽压力与再加热器的操作压力相同或者相似。碳氢化合物燃料气流 219 还随氧气流 218 一起进入再加热器，该氧气流是从 ASU 排出的主要氧气流 214 分流出来的。由于碳氢化合物燃料和氧气之间发生燃烧反应，该气流在再加热器中被加热，主要包含二氧化碳和蒸汽的气流 236 从再加热器排出，并在要求的压力和温度下输送到燃气轮机膨胀器 206。利用直接来自再加热器的气流 236，

该燃气轮机膨胀器将通过转轴 207 驱动空气压缩机。从膨胀器 206 排出的排出气流 238 输送到低压蒸汽轮机 240，该蒸汽轮机驱动连接于膨胀器转轴 207 的转轴 242。

低压蒸汽轮机排出气流 246，该气流包括输送到冷凝器 248 的蒸汽和二氧化碳。该冷凝器利用输送的冷却水 247 使水从二氧化碳中分离出来。该二氧化碳气流 249 从冷凝器排出，作为产品输送到其它系统，或者输送到储存装置，或者输送到以要求的方式利用的装置。主要包括水的冷凝物汇成水流 258 从冷凝器排出，然后回到发电装置的冷却系统。

因此系统 200 利用从发电装置蒸汽轮机排出的蒸汽来产生一部分操作 ASU 所需的动力，同时也可利用 ASU 产生的一部分氧制品来产生 ASU 所用的电力。另外，可以将用来冷却热交换器中压缩空气的水流输送到发电装置的涡轮或者补热蒸汽装置，由此可以回收热量，用于发电装置。虽然未示出，但是系统 200 还可以通过将一个或多个发电机组组合在系统中进行发电，其方式基本上类似于图 1 和图 2 所示的上述系统的方式。和前面系统的情况一样，和常规的 ASU 系统例如上述系统相比，系统 200 还需要较小的能量来生产 ASU 的产品。

虽然已经说明这种新颖的组合的空气分离氧助发电系统和相应的方法，但是应当清楚，按照本发明的说明，技术人员可以提出其它的改型和改变。因此应当明白，所有这些改型和改变应当属于由附属权利要求书所确定的本发明的范围。

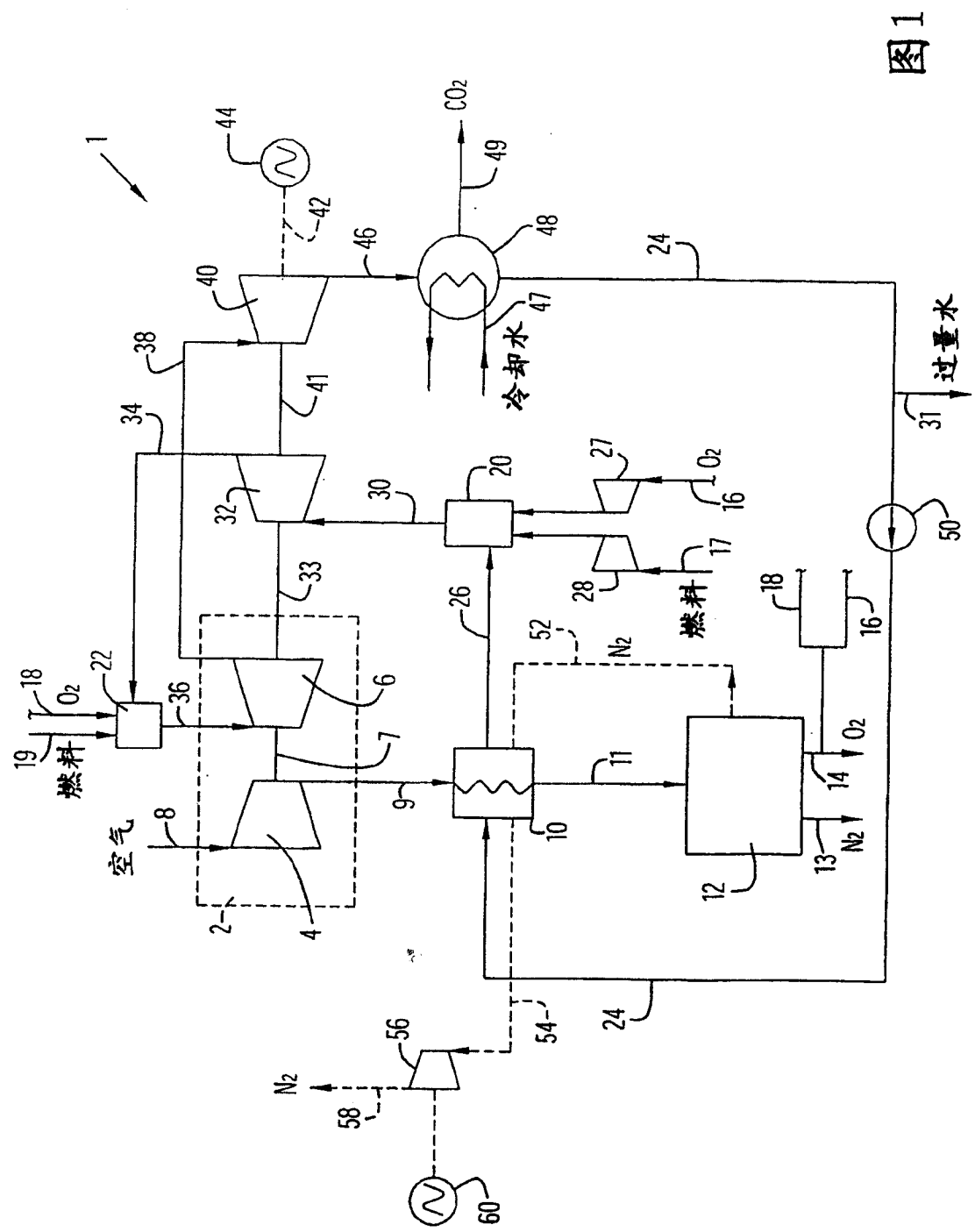


图1

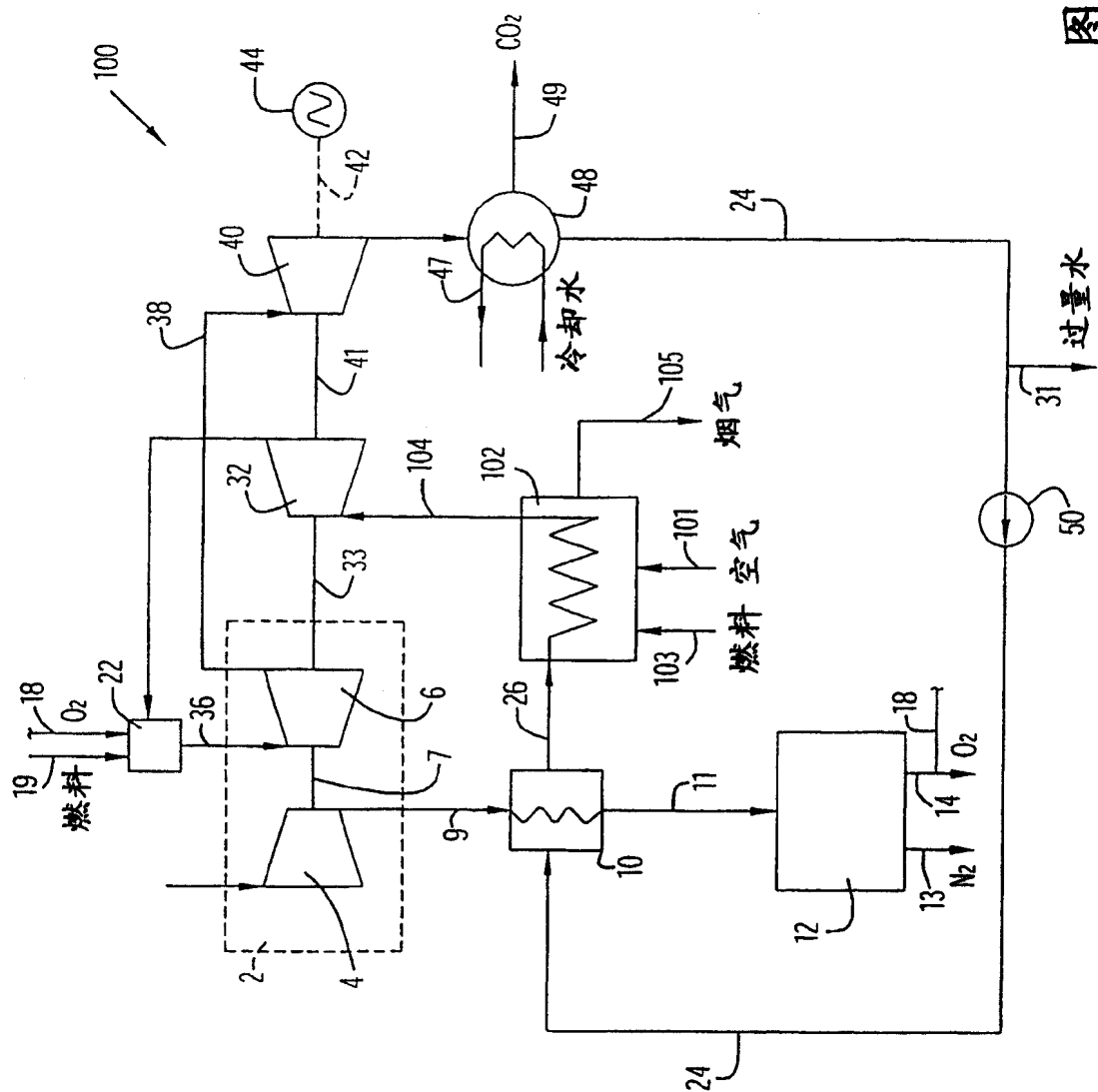


图 2

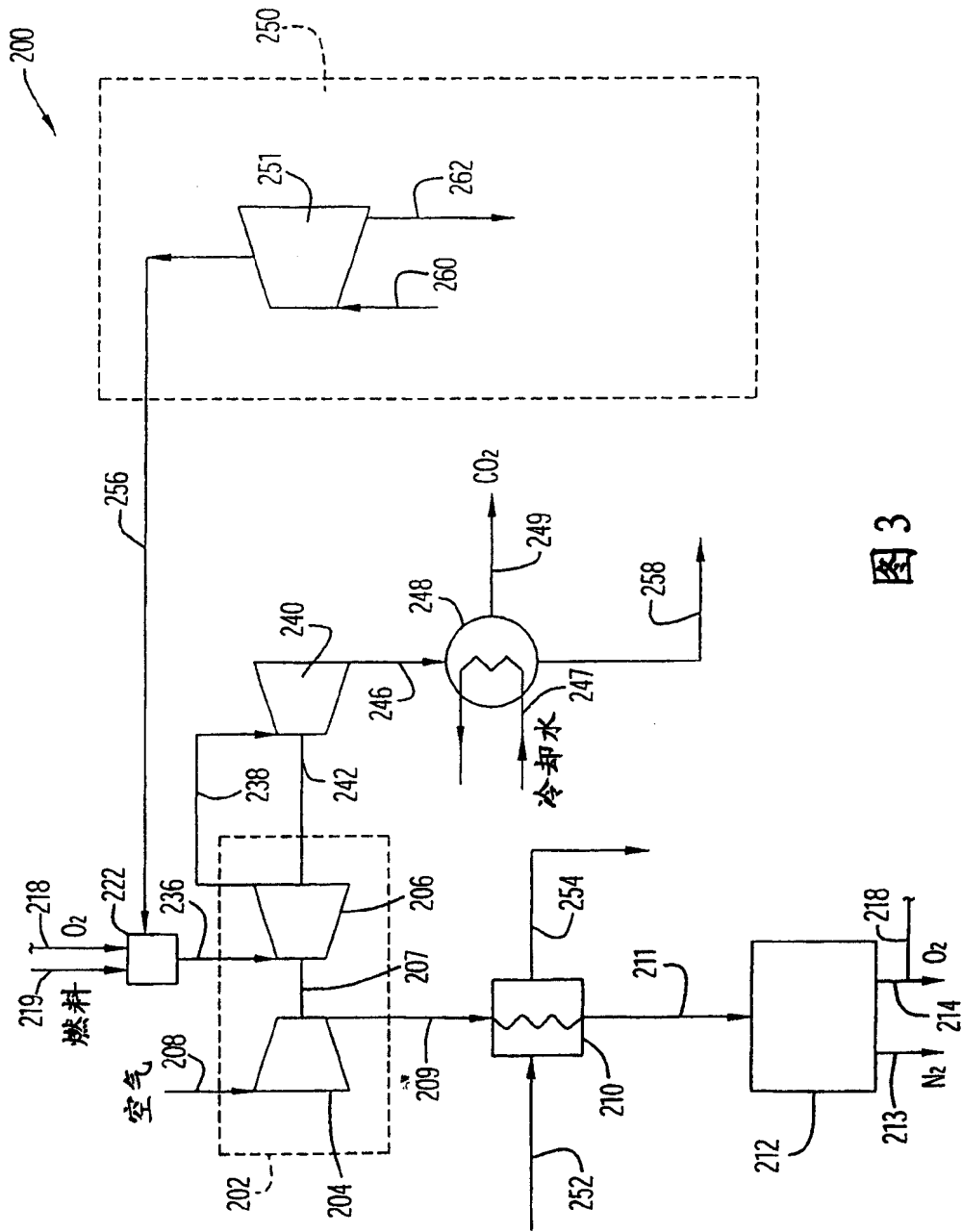


图 3