



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117005955 A  
(43) 申请公布日 2023. 11. 07

(21) 申请号 202310296838.9

(22) 申请日 2023.03.24

(30) 优先权数据

17/736,803 2022.05.04 US

(71) 申请人 通用电气公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 大卫·贾斯汀·布拉德利

(74) 专利代理机构 上海华诚知识产权代理有限公司 31300

专利代理师 陈海琴

(51) Int. Cl.

F02C 9/40 (2006.01)

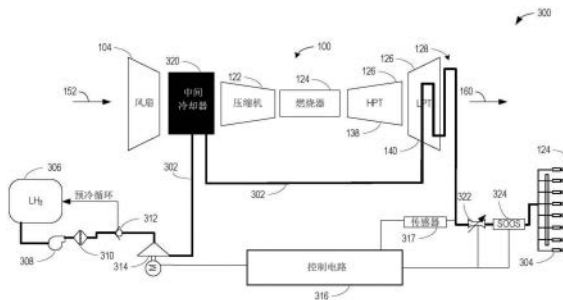
权利要求书2页 说明书29页 附图11页

(54) 发明名称

用氢作为燃烧燃料操作燃气涡轮的方法和设备

(57) 摘要

公开了用氢作为燃烧燃料操作燃气涡轮的方法和设备。示例燃气涡轮系统包括：中间冷却器，中间冷却器设置在风扇和压缩机的至少一部分之间；以及至少一个导管，至少一个导管限定输送流体的流动路径，流动路径包括第一部分和第二部分，流动路径的第一部分将流体运送到或通过中间冷却器，流动路径的第二部分至少部分地围绕燃烧器下游的低压涡轮或排气区段中的至少一个运送流体。



1. 一种燃气涡轮系统,其特征在于,包括:  
中间冷却器,所述中间冷却器设置在风扇和压缩机的至少一部分之间;以及  
至少一个导管,所述至少一个导管限定输送流体的流动路径,所述流动路径包括第一部分和第二部分,所述流动路径的所述第一部分将所述流体运送到或通过所述中间冷却器,所述流动路径的所述第二部分至少部分地围绕燃烧器下游的低压涡轮或排气区段中的至少一个运送所述流体。
2. 根据权利要求1所述的燃气涡轮系统,其特征在于,其中,所述流体是氢,其中所述至少一个导管限定所述流动路径的所述第一部分和所述第二部分下游的第三部分,进一步包括至少一个燃烧器喷嘴,所述流动路径的所述第三部分将所述氢运送到所述至少一个燃烧器喷嘴。
3. 根据权利要求2所述的燃气涡轮系统,其特征在于,其中,所述至少一个导管限定所述流动路径的所述第一部分下游的所述第二部分。
4. 根据权利要求1所述的燃气涡轮系统,其特征在于,其中,所述流体是热交换流体,所述至少一个导管是至少一个第一导管,并且所述流动路径是第一流动路径,进一步包括:  
热交换流体泵,所述热交换流体泵与所述至少一个第一导管连接,所述热交换流体泵驱动所述热交换流体通过所述第一流动路径;  
至少一个燃烧器喷嘴,所述至少一个燃烧器喷嘴将氢注入到燃烧器中;  
至少一个第二导管,所述至少一个第二导管限定第二流动路径,以将所述氢输送到所述至少一个燃烧器喷嘴;以及  
汽化器,所述汽化器与所述至少一个第一导管和所述至少一个第二导管连接,所述汽化器使热能在所述热交换流体和所述氢之间传递。
5. 根据权利要求4所述的燃气涡轮系统,其特征在于,进一步包括:  
存储器;  
指令,所述指令在所述燃气涡轮系统中;以及  
处理器电路,所述处理器电路基于所述热交换流体的温度或所述氢的温度中的至少一个,控制到所述热交换流体泵的驱动信号,其中所述驱动信号控制所述热交换流体的流率。
6. 根据权利要求4所述的燃气涡轮系统,其特征在于,进一步包括与所述至少一个第一导管连接的旁通阀,所述旁通阀响应于所述第二流动路径中的所述氢的压力满足压力阈值而使所述热交换流体绕过所述汽化器。
7. 根据权利要求6所述的燃气涡轮系统,其特征在于,其中,所述旁通阀是第一旁通阀,进一步包括与所述至少一个第一导管连接的第二旁通阀,所述第二旁通阀响应于所述热交换流体的所述温度满足第一温度阈值或所述氢的所述温度满足第二温度阈值中的至少一个而使所述热交换流体绕过所述流动路径的所述第二部分。
8. 根据权利要求4所述的燃气涡轮系统,其特征在于,进一步包括与所述至少一个第一导管和所述压缩机连接的热交换器,所述热交换器接收来自所述压缩机的引气,所述热交换器使所述引气将热能传递到所述热交换流体。
9. 根据权利要求8所述的燃气涡轮系统,其特征在于,其中,所述热交换器是第一热交换器,进一步包括以下中的至少一个:  
第二热交换器,所述第二热交换器与所述至少一个第一导管和向机身提供空气的环境

控制系统连接;或

第三热交换器,所述第三热交换器与所述至少一个第一导管和向致动器提供润滑剂的润滑系统连接。

10. 根据权利要求4所述的燃气涡轮系统,其特征在于,其中,所述热交换流体是超临界二氧化碳。

## 用氢作为燃烧燃料操作燃气涡轮的方法和设备

### 技术领域

[0001] 本公开大体涉及燃气涡轮发动机,并且更具体地,涉及用氢作为燃烧燃料操作燃气涡轮的方法和设备。

### 背景技术

[0002] 近年来,由于氢气提供的优点,燃气涡轮已经使用氢气和传统燃料的混合物。具体地,氢是一种丰富的元素,其对燃气涡轮中的燃烧具有有益的特性,例如减少碳排放、降低燃料消耗(磅/小时(pph))、提高能量产量、减轻重量以及高燃烧率和温度。在氢气燃烧期间,化学能和热能转化为机械能。燃烧产生的机械能可以驱动下游涡轮叶片,并为飞行器提供推进力或驱动产生电流的发电机轴。

### 附图说明

[0003] 图1是示例飞行器的侧视图。

[0004] 图2是图1的示例飞行器的示例燃气涡轮发动机的示意横截面视图。

[0005] 图3是第一示例燃气涡轮系统的示意图。

[0006] 图4是第二示例燃气涡轮系统的示意图。

[0007] 图5示出了可用于图4的第二示例燃气涡轮系统中的示例热交换流体泵。

[0008] 图6是第三示例燃气涡轮系统的示意图。

[0009] 图7是有助于控制图3的第一示例燃气涡轮系统、图4的第二示例燃气涡轮系统和/或图6的第三示例燃气涡轮系统中的流体流动的示例控制电路的框图。

[0010] 图8是表示与图3的第一示例燃气涡轮系统相关联的示例操作的第一流程图。

[0011] 图9是表示与图4的第二示例燃气涡轮系统相关联的示例操作的第二流程图。

[0012] 图10是表示与图6的第三示例燃气涡轮系统相关联的示例操作的第三流程图。

[0013] 图11是包括处理器电路的示例处理平台的框图,该处理器电路被构造为执行图8-10的示例机器可读指令和/或示例操作以实施图7的控制电路。

[0014] 附图未按比例绘制。大体上,在整个附图和随附的书面描述中将使用相同的附图标记来指代相同或相似的部分。

### 具体实施方式

[0015] 如本文所用,除非另有说明,否则连接引用(例如附接、联接、连结、连接和接合)可包括被连接引用所引用的元件之间的中间构件和/或那些元件之间的相对移动。因此,连接引用不一定推断两个元件直接连接和/或彼此具有固定关系。如本文所用,陈述任何部分与另一部分“接触”被限定为意味着在这两个部分之间没有中间部分。

[0016] 除非另有具体说明,否则本文使用描述符(诸如“第一”、“第二”、“第三”等)没有赋予或以其他方式指示优先级、物理顺序、列表中的布置和/或以任何方式排序的任何含义,而是仅用作标签和/或任意名称以区分元件来便于理解所公开的示例。在一些示例中,描述

符“第一”可用于指代详细描述中的元件,而在权利要求中可以使用不同的描述符(例如“第二”或“第三”)指代相同的元件。在这种情况下,应当理解,这种描述符仅用于清楚地标识可能例如以其他方式共享相同名称的那些元件。如本文所用,短语“通信”(包括其变型)涵盖通过一个或多个中间部件的直接通信和/或间接通信,并且不需要直接物理(例如,有线)通信和/或持续通信,而是另外包括以周期性间隔、预定间隔、非周期性间隔和/或一次性事件的选择性通信。如本文所用,“处理器电路”被限定为包括(i)被构造为进行特定操作并且包括一个或多个基于半导体的逻辑装置(例如,由一个或多个晶体管实施的电气硬件)的一个或多个专用电路,和/或(ii)用指令编程以进行特定操作并且包括一个或多个基于半导体的逻辑装置(例如,由一个或多个晶体管实施的电气硬件)的一个或多个通用的基于半导体的电路。处理器电路的示例包括可编程微处理器、可实例化指令的现场可编程门阵列(FPGA)、中央处理器单元(CPU)、图形处理器单元(GPU)、数字信号处理器(DSP)、XPU或微控制器和集成电路,诸如专用集成电路(ASIC)。例如,XPU可以由包括多种类型的处理器电路(例如,一个或多个FPGA、一个或多个CPU、一个或多个GPU、一个或多个DSP等,和/或其组合)和应用编程接口(API)的异构计算系统实施,该应用编程接口可以将计算任务分配给多种类型的处理电路中最适合执行计算任务的任何类型的处理电路。

[0017] 如本文在整个说明书和权利要求书中使用的,近似语言被应用于修饰可以允许变化而不会导致与其相关的基本功能发生改变的任何定量表示。因此,由诸如“约”、“近似”和“基本上”的术语修饰的值不限于指定的精确值。在至少一些情况下,近似语言可以对应于用于测量值的仪器的精度,或用于构造或制造部件和/或系统的方法或机器的精度。例如,近似语言可以指在百分之十的裕度内。

[0018] 术语“前”和“后”是指燃气涡轮发动机或运载器内的相对位置,并且是指燃气涡轮发动机或运载器的正常操作姿态。例如,对于燃气涡轮发动机,前是指更靠近发动机入口的位置,而后是指更靠近发动机喷嘴或排气口的位置。

[0019] 术语“上游”和“下游”是指相对于路径中的流动的相对方向。例如,对于流体流动,“上游”是指流体从其流动的方向,“下游”是指流体向其流动的方向。

[0020] “包括”和“包含”(及其所有形式和时态)在本文中用作开放式术语。因此,只要权利要求采用任何形式的“包括”或“包含”(例如,包含、包括、具有等)作为序言或在任何类型的权利要求陈述中采用任何形式的“包括”或“包含”(例如,包含、包括、具有等),应当理解,在不超出对应权利要求或陈述的范围的情况下,可以存在附加的元件、术语等。如本文所用,当短语“至少”用作例如权利要求的序言中的过渡术语时,其以与术语“包含”和“包括”是开放式的相同的方式是开放式的。术语“和/或”当例如以诸如A、B和/或C的形式使用时,指的是A、B、C的任何组合或子集,例如(1)单独A,(2)单独B,(3)单独C,(4)A与B,(5)A与C,(6)B与C,或(7)A与B以及与C。如本文在描述结构、部件、项目、对象和/或事物的上下文中使用的,短语“A和B中的至少一个”旨在指代包括(1)至少一个A,(2)至少一个B,或(3)至少一个A和至少一个B中的任何的实施方式。类似地,如本文在描述结构、部件、项目、对象和/或事物的上下文中使用的,短语“A或B中的至少一个”旨在指代包括(1)至少一个A,(2)至少一个B,或(3)至少一个A和至少一个B中的任何的实施方式。如本文在描述过程、指令、动作、活动和/或步骤的进行或执行的上下文中使用的,短语“A和B中的至少一个”旨在指代包括(1)至少一个A,(2)至少一个B,或(3)至少一个A和至少一个B中的任何的实施方式。类似地,如

本文在描述过程、指令、动作、活动和/或步骤的进行或执行的上下文中使用的,短语“A或B中的至少一个”旨在指代包括(1)至少一个A,(2)至少一个B,或(3)至少一个A和至少一个B中的任何的实施方式。

[0021] 如本文所用,单数引用(例如,“一”、“一种”、“第一”、“第二”等)不排除复数。如本文所用,术语“一”或“一种”对象是指该对象中的一个或多个。术语“一”(或“一种”)、“一个或多个”和“至少一个”在本文中可互换使用。此外,虽然单独列出,但多个装置、元件或方法动作可以通过例如相同实体或对象来实施。此外,虽然单独的特征可以包括在不同的示例或权利要求中,但这些可以可能被组合,并且不同示例或权利要求中的包括并不意味着特征的组合是不可行的和/或不利的。

[0022] 氢是丰富的燃料源,其对燃气涡轮中的燃烧具有附加有益特性(例如高燃烧率和温度),这可以提高燃气涡轮的效率。燃气涡轮为航空、海洋应用、齿轮箱、海上发电机、陆地发电厂等提供动力和/或机械驱动。除了其他传统燃料之外或替代其他传统燃料,燃气涡轮可以利用氢气以经由燃烧将热能和化学能转化为机械能。具体地,与不利用氢气的传统燃气涡轮相比,利用氢气作为燃烧燃料的燃气涡轮可以逐渐增加产生的能量的量。此外,在燃气涡轮内利用氢气减少了有害碳排放,考虑到已通过立法实施的排放法规,这是发电商关注的焦点。

[0023] 然而,与利用传统碳氢化合物相比,利用氢作为燃料提出了独特的挑战。具体地,与氢相关联的相对高的燃烧温度和火焰传播速度会导致注入氢的喷嘴过热,从而导致变形。此外,高火焰温度和传播速度会增加系统中发生燃烧回火和/或火焰保持的风险。此外,燃烧回火和/或火焰保持会导致潜在的爆燃燃烧,这会给操作员带来灾难性的风险。因此,在燃烧中利用氢导致的风险限制了氢作为燃料在燃气涡轮中的实施。

[0024] 在一些已知的实施方式中,水与氢气一起使用以防止氢气在点燃时使燃烧器喷嘴过热。例如,可以利用多个喷嘴将水与氢气引入燃烧器。在一些情况下,将燃料引入燃烧器中的喷嘴包括用于在将燃料注入到燃烧器中之前将燃料与水蒸气混合的室。然而,水降低了燃烧效率,并因此削弱了利用氢所提供的一些优势。

[0025] 在一些其他已知的实施方式中,氢仅用作用于燃烧的燃料的一部分和/或仅在与燃气涡轮发动机相关联的某些操作限制内。在一些情况下,碳氢燃料在燃气涡轮发动机的所有功率操作时供应至燃烧器,而氢气在低功率操作时被引入并在中等功率和高功率操作时终止。在一些示例中,氢燃料与液化气、天然气和/或煤气结合用于燃料混合物中。在一些示例中,氢燃料在预定功率操作时占燃料混合物的高达75%。然而,限制氢的使用降低了氢提供的益处,同时仍然在燃气涡轮发动机中遇到燃烧回火、火焰保持和/或劣化的风险。

[0026] 本文公开了用氢作为燃烧燃料来操作燃气涡轮的示例方法和设备。本文公开的示例燃气涡轮系统包括至少一个导管,至少一个导管限定流动路径以将氢从液态或低温氢供应部输送到燃烧器。低温氢的利用防止氢在燃气涡轮发动机的操作期间过热。因此,降低了与利用氢作为燃烧燃料相关联的某些风险。例如,降低了燃烧器喷嘴过热的风险,因为氢的温度在点火前可以保持在氢所需的最低燃烧温度附近。此外,将氢储存在液态或低温态可以减小氢储存供应部的尺寸。

[0027] 为了增加液态或低温氢的温度以准备燃烧,导管可以将氢从液态或低温供应部运送到设置在(a)风扇和压缩机之间或(b)压缩机的连续级之间的中间冷却器。进而,中间冷

却器可以使热能传递发生在流过风扇和/或压缩机的空气与流过中间冷却器的氢之间。结果,氢的温度升高,使得氢从液态或低温态朝向适合燃烧的气态或超临界相发展。此外,空气的温度降低,这增加了空气的密度,进而增加了空气压缩的效率。因此,压缩机可以以重量和/或成本节约的简化(例如减少的级和/或较低的尖端速度)来安装。进而,压缩机可以产生增加的压力比,同时输入减少的工作量。此外,导管可以运送氢至少部分地通过燃烧器下游的涡轮区段和/或排气区段和/或至少部分地围绕燃烧器下游的涡轮区段和/或排气区段运送氢以增加氢的温度,使得氢达到可燃温度范围。因此,然后氢可以被计量并注入到燃烧器中。

[0028] 在某些示例中,中间流体(例如,热交换流体,诸如超临界流体(例如,超临界二氧化碳( $sCO_2$ )等)等)流过导管(例如,至少一个第一导管)。也就是说,热交换流体流过中间冷却器以及至少部分地通过和/或围绕涡轮区段和/或排气区段。此外,热交换流体可以将收集的热量传递给氢。例如,氢可以流过至少一个第二导管,并且与第一导管和第二导管连接的汽化器可以使热能在热交换流体和氢之间传递。在被氢冷却之后,热交换流体可以再循环通过第一导管。也就是说,热交换流体可以重新进入中间冷却器,并再次从进入或流过压缩机的空气以及驱动燃烧器下游的涡轮和/或从燃气涡轮排出的排气中吸收热量。因此,第一导管可以形成闭合环路,其在多于一个位置接收热量并将接收的热量传递给氢。

[0029] 在某些示例中,附加的热交换器与第一导管连接。例如,第一导管可以与冷却的冷却空气(CCA)热交换器连接。具体地,CCA热交换器可以接收热交换流体以及来自压缩机的引气。进而,CCA热交换器可以使引气将热能传递到热交换流体,使得引气被冷却并且热交换流体被加热。进而,CCA热交换器可以使冷却的引气能够以降低的温度和/或更高的密度返回到压缩机。结果,空气中的氧浓度增加,这使得空气的增加部分能够参与与氢的燃烧反应。此外,降低的空气温度可以降低燃烧器内的火焰温度,并因此有助于防止损坏燃烧器喷嘴。

[0030] 在某些示例中,第一导管与环境控制系统(ECS)热交换器连接,使得热交换流体可以被提供给机身的空气加热,并且空气可以相反地被冷却和压缩。进而,燃气涡轮系统可以消除或减少对其他资源的需求,以向飞行器的机舱提供冷却的加压空气。

[0031] 在某些示例中,第一导管与润滑剂热交换器(例如,油冷却器)连接。具体地,润滑剂热交换器可以实现热交换流体和与致动系统相关联的润滑剂之间的热能传递,以将润滑剂维持在特定温度范围内,从而防止润滑剂的粘度因重复使用而受到不利影响。

[0032] 通常,第一导管将热交换流体运送到或通过相应热交换器所依据的顺序可以变化,并且可以取决于单独的燃气涡轮系统。例如,ECS热交换器和/或CCA热交换器可以在中间冷却器的上游或下游与第一导管连接。因此,可以控制热交换流体并进而控制氢接收的热量,同时还控制从其他流体(例如流过燃气涡轮或进入机身的空气和/或用作润滑剂的油)吸收的热量。

[0033] 另外,至少一个流体泵可以与第一导管连接。进而,流体泵的输出可以控制热交换流体的质量流量。因此,处理器电路可以控制流体泵的输出以控制被发送到汽化器中的热量,并进而控制氢的温度升高。附加地或替代地,一个或多个旁通阀可以定位在第一导管中,并且因此,处理器电路可以控制旁通阀的位置以修改热交换流体在一个循环期间收集的热能的量。此外,热交换流体可以对燃烧呈惰性,使得第一导管中的任何泄漏都不会导致

不希望的点燃。

[0034] 现在参考附图,图1是示例飞行器10的侧视图。飞行器10包括机身12和从机身12向外延伸的一对机翼14(示出一个)。在所示例中,燃气涡轮100支撑在每个机翼14上以在飞行期间推进飞行器通过空气。此外,如图所示,飞行器10包括竖直稳定器16和一对水平稳定器18(示出一个)。然而,在一些其他示例中,飞行器10可包括任何其他合适的构造,例如任何其他合适数量的燃气涡轮发动机。

[0035] 上面描述的和图1中所示的飞行器10的构造仅被提供以将本主题置于示例性使用领域中。因此,本主题可以容易地适用于任何方式的飞行器和/或具有利用氢来产生机械能的燃气涡轮的任何其他系统,例如燃气涡轮发电机。

[0036] 图2是图1的燃气涡轮100的示意横截面视图。在所示例中,燃气涡轮100被构造为高旁通涡轮风扇发动机。然而,在替代示例中,燃气涡轮100可以被构造为桨扇发动机、涡轮喷气发动机、涡轮螺旋桨发动机、涡轮轴燃气涡轮发动机或任何其他合适类型的燃气涡轮发动机。

[0037] 大体上,燃气涡轮100沿轴向中心线102延伸,并且包括至少部分地被环形机舱110包围的风扇104、低压(LP)轴106和高压(HP)轴108。更具体地,风扇104可包括风扇转子112和联接至风扇转子112的多个风扇叶片114(示出一个)。在这方面,风扇叶片114周向间隔开并且从风扇转子112径向向外延伸。此外,LP和HP轴106、108沿轴向中心线102定位在风扇104的下游。如图所示,LP轴106可旋转地联接到风扇转子112,从而允许LP轴106旋转风扇叶片114。另外,多个出口导向轮叶或支柱116彼此周向间隔开,并且在围绕LP和HP轴106、108的外壳118与机舱110之间径向延伸。这样,支柱116相对于外壳118支撑机舱110,使得外壳118和机舱110限定定位在其间的旁通气流通道120。

[0038] 外壳118大体上以串行流动顺序围绕或包围压缩机区段122、燃烧器区段124、涡轮区段126和排气区段128。在一些示例中,压缩机区段122可包括LP轴106的低压(LP)压缩机130和沿轴向中心线102定位在LP压缩机130下游的HP轴108的高压(HP)压缩机132。每个压缩机130、132又可以包括与一排或多排压缩机转子叶片136相互交叉的一排或多排定子轮叶134。因此,压缩机130、132限定延伸通过其中的压缩空气流动路径133。此外,在一些示例中,涡轮区段126包括HP轴108的高压(HP)涡轮138和沿轴向中心线102定位在HP涡轮138下游的LP轴106的低压(LP)涡轮140。每个涡轮138、140又可以包括与一排或多排涡轮转子叶片144相互交叉的一排或多排定子轮叶142。

[0039] 此外,LP轴106包括低压(LP)轴146,并且HP轴108包括围绕LP轴146同心定位的高压(HP)轴148。在这样的示例中,HP轴148可旋转地联接HP涡轮138的涡轮转子叶片144和HP压缩机132的压缩机转子叶片136,使得HP涡轮138的涡轮转子叶片144的旋转可旋转地驱动HP压缩机132的压缩机转子叶片136。如图所示,LP轴146直接联接到LP涡轮140的涡轮转子叶片144和LP压缩机130的压缩机转子叶片136。此外,LP轴146经由齿轮箱150联接到风扇104。在这方面,LP涡轮140的涡轮转子叶片144的旋转可旋转地驱动LP压缩机130的压缩机转子叶片136和风扇叶片114。

[0040] 燃气涡轮100可以生成推力来推进图1的飞行器10。更具体地,在操作期间,空气(由箭头152指示)进入燃气涡轮100的入口部分154。风扇104将空气152的第一部分(由箭头156指示)供应到旁通气流通道120,并且将空气152的第二部分(由箭头158指示)供应到压

压缩机区段122。空气152的第二部分158首先流过LP压缩机130,其中的压缩机转子叶片136逐渐压缩空气152的第二部分158。接下来,空气152的第二部分158流过HP压缩机132,其中的压缩机转子叶片136继续逐渐压缩空气152的第二部分158。空气152的压缩的第二部分158随后被传送到燃烧器区段124。在燃烧器区段124中,空气152的第二部分158与氢混合并燃烧,以生成高温高压燃烧气体160。氢可以在燃烧器区段124的上游(例如,在进入之前)被加热,使得氢响应于与空气152混合并被点燃而在燃烧器区段124中燃烧,如下面进一步详细讨论的。此后,燃烧气体160流过HP涡轮138,其中HP涡轮138的涡轮转子叶片144从燃烧气体160中提取第一部分动能和/或热能。该能量提取使HP轴148旋转,从而驱动HP压缩机132。燃烧气体160然后流过LP涡轮140,其中LP涡轮140的涡轮转子叶片144从燃烧气体160中提取第二部分动能和/或热能。该能量提取使LP轴146旋转,从而经由齿轮箱150驱动LP压缩机130和风扇104。燃烧气体160然后通过排气区段128离开燃气涡轮100。

[0041] 此外,在一些示例中,燃气涡轮100限定第三流流动路径170。大体上,第三流流动路径170从由压缩机区段122限定的压缩空气流动路径170延伸到旁通气流通道120。在这方面,第三流流动路径170允许来自压缩机区段122的压缩空气158的一部分绕过燃烧器区段124。更具体地,在一些示例中,第三流流动路径170可以在压缩机130、132或风扇104中的一个或多个的下游相对于压缩空气流动路径170限定同心或非同心通道。第三流流动路径170可以被构造成经由一个或多个可变导向轮叶、喷嘴或其他可致动流动控制结构从压缩空气流动路径170选择性地移除压缩空气158的一部分。

[0042] 上面描述的和图2中所示的燃气涡轮100的构造仅被提供以将本主题置于示例性使用领域中。因此,本主题可以容易地适用于任何方式的燃气涡轮构造,包括其他类型的基于航空的燃气涡轮发动机、基于船用的燃气涡轮发动机、陆基/工业燃气涡轮发动机和/或燃气涡轮发电机。

[0043] 图3是根据本文公开的教导的第一示例燃气涡轮系统300的示意图。在所示示例中,燃气涡轮系统300包括燃气涡轮100。如图所示,出于示例性目的,简化了燃气涡轮100的风扇104、压缩机区段122、燃烧器区段124、涡轮区段126和排气区段128。

[0044] 在图3所示的示例中,燃气涡轮系统300包括限定燃料流动路径的至少一个导管302(例如,至少一个管、至少一个管道等)。特别地,氢在被一个或多个喷嘴304注入到燃烧器区段124之前流过由导管302限定的燃料流动路径。进而,氢可以在燃烧器区段124中燃烧以提供可以驱动燃气涡轮100的HP轴108和LP轴106并且推进飞行器10的机械能。

[0045] 在图3所示的示例中,燃气涡轮系统300包括以液态或低温态储存氢的储氢罐306(例如,氢供应部)。导管302可以流体联接至储氢罐306。在一些示例中,储氢罐306定位在机身12中。因此,导管302可以从机身12延伸到流体联接至燃烧器区段124的喷嘴304。如下文进一步详细讨论的,除了下文描述的流体联接至导管302或与导管302连接的部件之外,导管302可以延伸通过泵、冷凝器和/或阀。

[0046] 有利地,以液态或低温态储存氢使得更多的氢能够储存在更小的空间中,进而与以气态形式储存氢相比,能够减轻储氢罐306的重量。事实上,气态氢储存装置可能无法储存足够的氢来为更长的飞行提供燃料,因为与液态或低温氢相比气态氢的密度较低,因此可能需要比飞行器100中可用的储存空间更多的储存空间。

[0047] 在图3所示的示例中,燃气涡轮系统300包括低温泵308、过滤器310、第一阀312和

氢泵314(例如,液态氢泵、离心泵、容积泵等)。在图3中,低温泵308捕获以气态形式从储氢罐306逸出的氢并在冷表面上冷凝氢气,使得氢气返回液态或低温态。进而,低温泵308将低温氢朝向过滤器310泵送,过滤器310捕获固体颗粒并使液体或气体能够流过。在一些示例中,燃气涡轮系统300包括多于一个的与导管302连接的过滤器310。此外,低温氢流向第一阀312。当第一阀312关闭时,低温氢循环回到储氢罐306。当第一阀312打开时,低温氢流向氢泵314。进而,氢泵314将低温氢泵送通过导管302。

[0048] 在图3所示的示例中,燃气涡轮系统300包括通信联接到氢泵314的电机的控制电路316。这样,控制电路316可以通过控制提供给电机的输入信号来控制氢泵314的流率输出。具体地,电机可以驱动推进氢通过导管302的推进器叶片的旋转。通过控制氢泵314的流率输出,控制电路316可以控制氢在行进通过导管302时接收的热能的量和/或氢接收热能的速率,如下面进一步详细讨论的。

[0049] 在图3所示的示例中,燃气涡轮系统300包括与导管302连接的传感器317(例如,压力传感器、温度传感器、流率传感器等)。传感器317可以在沿着燃料流动路径的任何位置处与导管302连接。在一些示例中,传感器317分布在整个燃料流动路径中并且在各个点处与导管302连接。在图3中,控制电路316可以控制氢泵314的流率输出,使得燃烧器区段124中的氢的燃烧流率能够满足(例如,大于或等于)燃烧流率阈值。

[0050] 为了增加氢的温度,使得氢能够从液态转化为使得氢能够在燃烧器区段124中燃烧的气态或超临界相,导管302运送氢通过燃气涡轮100的风扇104和压缩机区段122之间的中间冷却器320。中间冷却器320使得能够在氢和进入压缩机区段122的空气152之间发生热能传递。在一些其他示例中,中间冷却器320定位在压缩机区段122的级之间。例如,中间冷却器320可以定位在第一级叶片(例如,图2的转子叶片136)和二级叶片(例如,图2的定子轮叶134)之间。

[0051] 在图3中,风扇104可以将中间冷却器320的翅片之间的空气152推向压缩机区段122。此外,中间冷却器320包括导管302和/或与导管302连接(例如,中间冷却器320流体联接到导管302),使得中间冷却器320包含氢。例如,导管302可以形成使氢流过中间冷却器320的网格或网络或与其连接,同时中间冷却器320的表面将空气152与氢分开。具体地,中间冷却器320可以由棒板型中间冷却器、管翅型中间冷却器和/或可以运送氢同时允许空气152穿过到压缩机区段122的任何其他类型的中间冷却器实施。

[0052] 结果,氢被流过中间冷却器320的空气152加热,同时空气152被氢冷却。因此,中间冷却器320可以使液态氢朝向可燃温度(例如,至少-250℃)转变。此外,通过冷却空气152,中间冷却器320增加空气152的密度,这导致当空气152移动到燃烧器中时总压力比增加。另外,通过冷却空气152,中间冷却器320可以减少每单位质量的氧占据的体积。因此,中间冷却器320可以增加空气152中的氧浓度,并且因此使更高浓度的空气152成为燃烧反应的一部分,这可以增加燃烧反应产生的机械能。此外,空气152的降低的温度可以防止空气152自燃,并且进而允许空气152在燃烧之前进一步行进到燃烧器区段124中。因此,中间冷却器320可以帮助提供燃烧和喷嘴304之间的增加的分离,以降低喷嘴304遇到的温度。

[0053] 在图3所示的示例中,在氢离开中间冷却器320之后,导管302运送氢至少部分地通过燃气涡轮100的涡轮区段126和/或排气区段128(例如,燃气涡轮100的后部)和/或至少部分地围绕燃气涡轮100的涡轮区段126和/或排气区段128(例如,燃气涡轮100的后部)运送

氢。具体地,导管302可以围绕燃气涡轮100的燃烧器区段124下游的一部分定位在燃气涡轮100的外壳118(图2)中,使得氢可以接收来自燃烧气体160的热能。因此,导管302的一部分可以形成汽化器(例如,废热回收汽化器),其使得来自燃烧气体160的热能够能够将氢转化为气态或超临界相以为燃烧做准备。例如,导管302可以形成至少部分地围绕低压涡轮140和/或排气区段128的周边定位的环路。在一些其他示例中,导管302可以形成任何其他几何结构以使氢能够从燃烧气体160(图2)接收一定量的热能。例如,导管302可以形成螺旋形和/或同心地缠绕涡轮区段126和/或排气区段128。进而,氢的压力和/或温度可以变得大于或等于由氢的临界点限定的压力和/或温度(例如,33.2开尔文(K)和12.8个大气压(atm)),使得中间冷却器320使氢处于超临界相或处于气相。

[0054] 在一些示例中,为了在启动操作期间加热导管302中的氢,燃气涡轮系统300包括可操作地联接到导管302的至少一个微调汽化器(trim vaporizer)。因此,当尚未产生燃烧气体160时,微调汽化器能够使氢接收足够的热量用于初始燃烧。在这样的示例中,微调汽化器可以响应于导管302中的氢满足温度阈值和/或响应于燃气涡轮100的功率输出满足与中间冷却器320相关联的功率输出阈值,并且汽化器提供足够的热量以使氢转变到可燃温度而被去激活。例如,控制电路316可以基于传感器317测量的温度和/或燃气涡轮100的功率输出来控制微调汽化器的功率设置。

[0055] 在一些示例中,为了使氢能够在中间冷却器和燃气涡轮100的后部之间接收热能,导管302运送氢通过外壳118(图2),进而氢可以从燃气涡轮100的其他区段接收热能。例如,导管302可以在靠近压缩机区段122、燃烧器区段124和/或HP涡轮区段138的外壳118(图2)中运送氢。在这样的示例中,为了防止氢从燃烧器区段124接收过多的热量,导管302可以定位成与燃气涡轮100的其他区段相比,更远离燃烧器区段124。在这方面,导管302可以沿外壳118的外径向表面延续,以增加氢和燃烧器区段124之间的分离。进而,氢可以从流过外壳118和机舱110(图2)之间的旁通气流通道120(图2)的空气152接收热能。在一些其他示例中,导管302在中间冷却器320的下游离开外壳118。例如,导管302可以在飞行器10(图1)的其他部分(例如,机舱110(图2)、机翼14(图1)和/或机身12(图1))中运送氢。应当理解,导管302不与燃烧器区段124、涡轮区段126或排气区段128流体联接,以防止氢在经由喷嘴304被注入到燃烧器区段124中之前与燃烧气体160混合。

[0056] 在图3所示的示例中,在氢从流过燃气涡轮100后部的燃烧气体160接收热能之后,导管302将氢输送到至少一个燃料计量阀322。在图3中,控制电路316通信联接到燃料计量阀322。具体地,控制电路316控制燃料计量阀322的位置,以控制提供给喷嘴304的氢量,并因此控制燃烧器区段124中的氢与空气之比。此外,控制电路316可以与安全阀324通信联接。例如,控制电路316可以调整安全阀324的位置,以响应于导管302内的压力超过压力阈值(例如,比在高功率条件期间遇到的最大正常工作压力大2倍,比在高功率条件期间遇到的最大正常工作压力大1.5倍等)而从导管302释放氢。

[0057] 虽然图3所示示例的燃气涡轮系统300包括某些部件,但应当理解,燃气涡轮系统300可以包括除图3中所示的那些部件之外的其他部件。例如,燃气涡轮系统300可包括与导管302连接的附加阀和/或过滤器。附加地或替代地,燃气涡轮系统300可包括微调汽化器,如上所述。

[0058] 图4是根据本文公开的教导的第二示例燃气涡轮系统400的示意图。在所示例

中,第二燃气涡轮系统400包括燃气涡轮100。如图所示,出于示例性目的,简化了燃气涡轮100的风扇104、压缩机区段122、燃烧器区段124、涡轮区段126和排气区段128。

[0059] 在图4所示的示例中,第二燃气涡轮系统400包括输送氢的至少一个第一导管402(例如,至少一个管、至少一个管道等)和输送中间流体(例如,热交换流体,诸如超临界流体(例如,超临界二氧化碳( $sCO_2$ )等)等)的至少一个第二导管404(例如,至少一个管、至少一个管道等)。

[0060] 第二燃气涡轮系统400包括与第一导管402和第二导管404连接的汽化器405。汽化器405使第一导管402中的氢与第二导管404中的热交换流体交换热能。结果,热交换流体加热氢,而氢冷却热交换流体。在这方面,汽化器405可以使氢转变到氢可以响应于点燃而燃烧的温度。换句话说,氢可以以液态进入汽化器405并以气态或超临界相离开汽化器405。在图4中,汽化器405可以包括壳管式热交换器、双管式热交换器、板翅式热交换器、针翅式热交换器、添加剂式热交换器,或任何其他类型的热交换器。此外,汽化器405可以由金属、石墨、陶瓷或具有高导热性和熔点的任何其他材料形成。在氢通过汽化器405之后,第一导管402可以将氢运送到燃料计量阀322,燃料计量阀322控制通过喷嘴304将氢注入燃烧器区段124的速率。

[0061] 在第二燃气涡轮系统400中,第二导管404中的热交换流体收集热能,类似于图3的第一燃气涡轮系统300中的氢。热交换流体由热交换流体泵406驱动通过第二导管404,如结合图5进一步讨论的。具体地,控制电路316控制热交换流体泵406的输出,以控制热交换流体收集的热能的量和/或热交换流体收集热能的速率。

[0062] 例如,控制电路316可以基于由传感器317测量的第一导管402中的氢和/或第二导管中的热交换流体的温度、压力和/或流率来控制热交换流体泵406的流率输出。例如,控制电路316可以响应于氢和/或热交换流体的温度不满足(例如,小于)第一温度阈值(例如,75°F、100°F、150°F等)、响应于氢和/或热交换流体的压力不满足(例如,小于)第一压力阈值(例如,避免氢的两相(例如,液态-气态)混合物的压力,比燃烧器中的静态压力大至少1.5倍的压力等)、和/或响应于氢和/或热交换流体的流率满足(例如,大于)第一流率阈值(例如,3,100磅/小时(pph)、900pph等)而使热交换流体泵406的流率输出降低。因此,控制电路316可以使热交换流体泵406以降低的速率驱动热交换流体通过第二导管404,以增加热交换流体从流过燃气涡轮100的空气152和/或燃烧气体160收集的热量。此外,通过使热交换流体以降低的速率流过第二导管404,控制电路316可以使热交换流体能够将更多的热量传递给汽化器405中的氢。类似地,为了防止氢过热和/或防止第一导管402中的压力超过第一导管402可以承受的压力,控制电路316可以响应于氢和/或热交换流体的温度满足(例如,大于)第二温度阈值(例如,250°C、350°C、450°C等)、响应于氢和/或热交换流体的压力满足(例如,大于)第二压力阈值(例如,比在高功率条件期间遇到的最大正常工作压力大2倍、比在高功率条件期间遇到的最大正常工作压力大1.5倍等)、和/或响应于氢和/或热交换流体的流率满足(例如,小于)第二流率阈值(例如,30pph、20pph等)而使热交换流体泵406的流率输出增加。尽管本文提供了某些温度、压力和流率阈值,但是可以基于第二燃气涡轮系统400的具体应用来调整这些阈值。因此,示例阈值并不是全部包含的并且不限定燃气涡轮系统400的所有操作范围。尽管传感器317被描绘为在某些位置与第一导管402和第二导管404连接,但是应当理解,传感器317可以在沿第一导管402和第二导管404的任何位

置处获得测量值,并且可以位于遍及第一导管402和第二导管404的各个点处。

[0063] 在图4所示的示例中,第二导管404与中间冷却器320连接。因此,热交换流体可以在中间冷却器320内流动,并且与被风扇104驱动通过中间冷却器320的空气152交换热能。此外,第二导管404将热交换流体朝向燃气涡轮100的后部运送。在一些示例中,第二导管404的至少一部分定位在外壳118(图2)中或附近。因此,当第二导管404将热交换流体朝向燃气涡轮100的后部输送时,第二导管404可以使热交换流体能够从行进通过压缩机区段122的空气152、从行进通过燃烧器区段124和/或高压涡轮138的燃烧气体160、和/或从旁通气流通道120中的空气152接收热能。

[0064] 在图4所示的示例中,第二燃气涡轮系统400包括与第二导管404连接的第一旁通阀408。当第一旁通阀408处于第一位置(例如,关闭位置)时,第二导管404至少部分地围绕燃气涡轮100的涡轮区段126和/或排气区段128运送热交换流体和/或运送热交换流体至少部分地通过燃气涡轮100的涡轮区段126和/或排气区段128。进而,热交换流体可以从行进通过涡轮区段126和/或排气区段128的燃烧气体160接收热能。

[0065] 当第一旁通阀408处于第二位置(例如,打开位置)时,第一旁通阀408使至少一部分热交换流体进入第一旁通导管409并绕过一部分第二导管404。具体地,第一旁通导管409使热交换流体暴露于来自涡轮区段126和/或排气区段128的较少热能。因此,第一旁通阀408可以使热交换流体从燃烧气体160接收较少热能。在一些示例中,第一旁通导管409仍然能够使热交换流体从燃烧气体160接收热能,但是与第二导管404继续运送热交换流体时(例如,当第一旁通阀408处于第一位置时)相比,在缩短的长度上接收热能。

[0066] 在图4中,控制电路316控制第一旁通阀408的位置。具体地,第二燃气涡轮系统400可包括与第一导管402连接的传感器317,使得传感器317可以测量第一导管402中的氢的温度和/或压力。然后控制电路316可以将氢的温度与第一温度阈值进行比较和/或将氢的压力与第一压力阈值进行比较。响应于氢的温度满足(例如,大于)第一温度阈值或氢的压力满足(例如,大于)第一压力阈值,控制电路316可以将第一旁通阀408调整到第二位置以减少热交换流体从燃烧气体160接收的热量。

[0067] 在图4所示的示例中,第二燃气涡轮系统包括与第二导管404连接的第二旁通阀410。当第二旁通阀410处于第一位置(例如,关闭位置)时,第二导管将热交换流体运送到和/或通过汽化器405。结果,热交换流体可以将热量传递到流过汽化器405的氢。

[0068] 当第二旁通阀410处于第二位置(例如,打开位置)时,第二旁通阀410使一部分热交换流体流过第二旁通导管411。具体地,第二旁通导管411使得该一部分热交换流体能够绕过汽化器405。因此,随着热交换流体以降低的速率被引入汽化器405,热交换流体在汽化器405中保留更长时间。因此,热交换流体与氢交换热能的持续时间增加。因此,当热交换流体保留在汽化器405中时,热交换流体继续将热能损失给氢,并因此与以更快的速率将热交换流体引入汽化器405相比,进入汽化器405的氢的一部分可以从相对较冷的热交换流体接收热能。

[0069] 在图4所示的示例中,控制电路316控制第二旁通阀410的位置,类似于第一旁通阀408。例如,响应于氢的温度满足(例如,大于)第二温度阈值或氢的压力满足(例如,大于)第二压力阈值,控制电路316可以使第二旁通阀410从第一位置移动到第二位置,以减少氢从热交换流体接收的热能的量。

[0070] 在一些示例中,控制电路316可以将第二旁通阀410调整到多于两个位置。例如,控制电路316可以将第二旁通阀410调整到第三位置(例如,部分打开位置),以使氢能够接收比第二旁通阀410处于第二位置时更多的热能,但比第二旁通阀410处于第一位置时更少的热能。因此,控制电路316可以响应于氢的温度满足第三温度阈值(例如,小于第二温度阈值的温度阈值)和/或第三压力阈值(例如,小于第二压力阈值的压力阈值)而将第二旁通阀410调整到第三位置。

[0071] 尽管图4所示示例的燃气涡轮系统400包括某些部件,但应当理解,燃气涡轮系统400可包括除图4中所示的那些部件之外的其他部件。例如,燃气涡轮系统400可包括与第一和/或第二导管402、404连接的附加阀和/或过滤器。附加地或替代地,燃气涡轮系统400可包括与第一导管402连接的一个或多个微调汽化器,以在启动操作期间帮助加热氢,如上所讨论的。

[0072] 图5是图4的第二示例燃气涡轮系统400的热交换流体泵406的示例说明。在图5所示的示例中,热交换流体泵406驱动热交换流体通过第二导管404。具体地,热交换流体流过入口管504并遇到叶轮506(例如,压缩机轮),叶轮506旋转以驱动热交换流体通过流体联接到第二导管404的压缩机收集器508(例如,蜗壳)。进而,第二导管404可以将热交换流体供给到中间冷却器320(图4)。因此,热交换流体泵可以泵送热交换流体以管理第一导管402(图4)中的氢的热能,和/或与图1的飞行器10、图2的燃气涡轮100和/或任何其他合适系统相关联的其他工作流体的热能,如结合图6更详细地讨论的。

[0073] 在图5所示的示例中,热交换流体泵406包括定位在电机外壳512中的电机510。电机510间接驱动叶轮506的旋转,如下文进一步详细讨论的。在图5中,电机510是感应电机,其经由联接到电机外壳512的馈通连接器514可操作地联接到控制电路316。因此,控制电路316控制电机510的转速,并进而控制热交换流体泵406的输出流率。例如,控制电路可以基于第一导管402中的氢的压力和/或温度来操作电机510。在一些示例中,控制电路316可以基于受热交换流体影响的其他工作流体的压力和/或温度来操作电机510。附加地或替代地,控制电路316可以基于通过可操作地联接到热交换流体泵406和/或第二导管404的加速度计获得的振动测量值来操作电机510。

[0074] 在图5中,电机外壳512可以至少部分地被冷却套516围绕,以防止电机510过热。电机外壳512的后端联接到后轴承外壳518。电机外壳512的前端经由螺栓522联接到中间轴承外壳520。此外,中间轴承外壳520经由螺栓526联接到与电机外壳512相对的连接器外壳524。连接器外壳524经由螺栓530联接到与中间轴承外壳520相对的前轴承外壳528。此外,前轴承外壳528经由螺栓534联接到背板532和背板532的相对侧的压缩机收集器508。

[0075] 在图5所示的示例中,电机510的转子536固定地联接到轴538。这样,电机510驱动轴538的旋转。轴538的后端由联接到后轴承外壳518的第一滚子轴承540(例如,第一滚动元件轴承)支撑。具体地,第一滚子轴承540经由定位在第一滚子轴承540与后轴承外壳518之间的第一轴承外圈(bearing cup)542和轴承垫片544联接到后轴承外壳518。在图5所示的示例中,预加载弹簧546定位在第一轴承外圈542和轴承垫片544之间。类似地,轴538的前端由联接到中间轴承外壳520的第二滚子轴承548(例如,第二滚动元件轴承)支承。具体地,第二滚子轴承548经由第二轴承外圈549联接到中间轴承外壳520。第一滚子轴承540和第二滚子轴承548填充有油润滑剂(例如,油脂、机油等),以减小轴538的旋转阻力并减小轴538旋

转时轴承540、548遇到的磨损。

[0076] 在图5所示的示例中,轴538的前端至少部分地延伸通过中间轴承外壳520。第一磁耦合件550(例如,凹形磁耦合件)的后端围绕轴538的前端定位。为了联接轴538和第一磁耦合件550,保持螺栓551插入通过第一磁耦合件550的后端和轴538的前端。具体地,保持螺栓551的头部553的宽度大于保持螺栓551延伸通过的第一磁耦合件550中的孔口555的宽度。结果,轴538驱动第一磁耦合件550的旋转。

[0077] 在图5所示的示例中,第一磁耦合件550围绕阻隔罐552(例如,护罩)定位。为了将阻隔罐552联接到前轴承外壳528,阻隔罐保持器554(例如,保持环)围绕阻隔罐552的凸缘556定位并经由螺栓558联接到前轴承外壳528的后端。此外,O形环559定位在阻隔罐552的凸缘556和阻隔罐保持器554之间。阻隔罐552气密地密封前轴承外壳528的后端,进而防止热交换流体逸出。因此,阻隔罐552防止热交换流体流过联接器外壳524并与其他流体(例如第一滚子轴承540和/或第二滚子轴承548的油润滑剂)混合,否则会阻止热能在热交换流体和工作流体之间安全地传递。附加地或替代地,阻隔罐552可以气密地密封电机外壳512以防止油润滑剂与热交换流体混合并污染热交换流体。

[0078] 在图5所示的示例中,阻隔罐552定位在第二磁耦合件560(例如,凸形磁耦合件)周围,第二磁耦合件560磁耦合到第一磁耦合件550。具体地,第一磁耦合件550和第二磁耦合件560的相对磁极在阻隔罐552的相对侧对准,以将第一磁耦合件550磁耦合到第二磁耦合件560。结果,第一磁耦合件550和第二磁耦合件560可旋转地互锁。相应地,第一磁耦合件550可以驱动第二磁耦合件560的旋转。在一些示例中,联接器外壳524包括通气口561以使流体(例如,氢、空气等)能够循环进出联接器外壳524。进而,当阻隔罐552由于遇到由第一磁耦合件550和第二磁耦合件560产生的旋转磁场而产生热能时,热交换流体可以从阻隔罐552吸收热量以防止阻隔罐552熔化。在一些示例中,风扇驱动热交换流体循环通过联接器外壳524中的通气口561。在一些其他示例中,通气口561对大气或另一种流体外壳部(fluid enclosure)开放,这提供热交换流体以从阻隔罐552吸收热能。

[0079] 在图5所示的示例中,第二磁耦合件560经由顶帽564联接到拉杆562。拉杆562延伸通过前轴承外壳528和背板532以联接到叶轮506。此外,第二磁耦合件560联接到围绕拉杆562定位的轴566和/或从其延伸。类似地,轴566延伸通过前轴承外壳528和背板532以联接到叶轮506。结果,拉杆562和轴566使叶轮506与第二磁耦合件560一起旋转并泵送热交换流体。

[0080] 在图5所示的示例中,轴566的轴向部分568由轴颈轴承组件570支撑。此外,轴566的径向部分572由推力轴承组件574支撑。例如,轴颈轴承组件570和/或推力轴承组件574可以包括箔片轴承。在一些示例中,轴颈轴承组件570和推力轴承组件574经由螺栓联接到前轴承外壳528。附加地或替代地,推力轴承组件574可以联接到轴颈轴承组件570中的一个。

[0081] 在图5所示的示例中,热交换流体泵406包括前轴承外壳528中的次级流入口575。具体地,热交换流体可以进入前轴承外壳528并且在轴566的径向部分572和推力轴承组件574之间流动。此外,通过次级流入口575进入的热交换流体的第一部分可以围绕轴566流动,并进入叶轮506与背板532之间的压缩机收集器508。通过次级流入口575进入的热交换流体的第二部分可以围绕轴566流向阻隔罐552。第二磁耦合件560的后端与阻隔罐552之间的分离使得热交换流体能够流过第二磁耦合件560并通过轴566朝向叶轮506流回。此外,轴

566包括管道576,管道576引导在背板532和叶轮506之间流过其中的热交换流体,使热交换流体进入压缩机收集器508。因此,当电机510驱动轴538的旋转时,叶轮506泵送热交换流体通过第二导管404。

[0082] 尽管图5所示的示例呈现了热交换流体泵406的示例实施方式,但是应当理解,热交换流体泵406可以由其他离心流体泵实施。例如,热交换流体泵406可以是离心泵,其中电机安装在与叶轮506相同的轴上。此外,热交换流体泵406可以包括替代布局和/或附加或替代部件,例如图5所示示例中未呈现的轴承和/或其他附件(例如,过滤器、齿轮等)。

[0083] 图6是根据本文公开的教导的第三示例燃气涡轮系统600的示意图。在所示示例中,燃气涡轮系统300包括燃气涡轮100。如图所示,出于示例性目的,简化了燃气涡轮100的风扇104、压缩机区段122、燃烧器区段124、涡轮区段126和排气区段128。此外,第三示例燃气涡轮系统600包括与第二导管404连接的环境控制系统(ECS)热交换器602、冷却的冷却空气(CCA)热交换器604和油冷却热交换器606。

[0084] 在图6所示的示例中,中间冷却器320定位在压缩机区段122的级之间(例如,定子轮叶134(图2)和转子叶片136(图2)的级之间),而不是定位在风扇104和压缩机区段122之间(如图3和4的第一和第二燃气涡轮系统300、400所示)。因此,流过第三燃气涡轮系统600中的中间冷却器320的空气152可能比流过第一和/或第二燃气涡轮系统300、400中的中间冷却器320的空气152更热,因为压缩机区段122已经开始压缩空气152,这也加热了空气152。因此,在图6中,中间冷却器320可以将热交换流体加热到更高的温度。此外,在图6中,热交换流体可以从空气152中提取更多的热能,这冷却并压缩空气152,并且允许压缩机区段122输入更少的功同时产生增加的总压力比。

[0085] 在图6中,热交换流体泵406将热交换流体驱动到ECS热交换器602、CCA热交换器604、中间冷却器320、油冷却热交换器606,以该相应顺序至少部分地围绕和/或通过燃气涡轮100的后部,并且到汽化器405。然而,在一些示例中,ECS热交换器602、CCA热交换器604和油冷却热交换器606在第三燃气涡轮系统600中被不同地布置。例如,ECS热交换器602和/或CCA热交换器604可以与中间冷却器320和油冷却热交换器606之间或油冷却热交换器606和燃气涡轮100的后部之间的第二导管404连接。附加地或替代地,CCA热交换器604可以定位在热交换流体泵406和ECS热交换器602之间。此外,油冷却热交换器606可以与a)热交换流体泵406和ECS热交换器602,b)ECS热交换器602和CCA热交换器604,或c)CCA热交换器604和中间冷却器320之间的第二导管连接。也就是说,ECS热交换器602、CCA热交换器604和油冷却热交换器606的相应位置可以基于要传递到热交换流体,和/或与ECS热交换器602、CCA热交换器604和油冷却热交换器606相关联的其他工作流体的热能的量来调整。

[0086] 在图6所示的示例中,除了与第二导管404连接之外,ECS热交换器602还与向飞行器10(图1)的机身12(图1)供应空气以用于加压的环境控制系统连接。例如,ECS热交换器602可以接收从压缩机区段122排出的空气152的一部分。因此,空气152可以离开燃气涡轮100的轴向流动路径并进入ECS热交换器602。进而,通过ECS热交换器602的热交换流体可以在空气152被提供给机身12之前冷却和压缩空气152。就此而言,热交换流体冷却要供应给机身12的空气152,同时空气152加热热交换流体。在图6中,ECS热交换器602可以由板式热交换器(例如,板翅式热交换器、枕板式热交换器、板框式热交换器、板壳式热交换器、螺旋板式热交换器等)、壳管式热交换器(例如,双管式热交换器等)、针翅式热交换器或任何其

他合适的热交换器来实施。ECS热交换器602可以由金属、石墨、陶瓷或具有高导热性和熔点的任何其他材料形成。

[0087] 在图6所示的示例中,CCA热交换器604可以接收从压缩机区段122排出的空气152的一部分以及来自第二导管404的热交换流体。因此,空气152可以离开燃气涡轮100的轴向流动路径并进入CCA热交换器604。进而,热能传递可以发生在引气152和CCA热交换器604中的热交换流体之间。因此,CCA热交换器604使引气152能够加热热交换流体,同时热交换流体冷却引气152并使引气152压缩。进而,冷却和压缩的引气152可以以更高氧浓度返回到压缩机区段122,更高氧浓度使得返回的引气152的更大部分能够在燃烧器区段124中参与与氢的燃烧反应。此外,将冷却的引气152返回到压缩机区段122,压缩机区段122然后将冷却的引气提供到燃烧器区段124,可以帮助降低燃烧器区段124内的火焰温度,并因此有助于保护喷嘴304。在图6中,CCA热交换器604可以由板式热交换器(例如,板翅式热交换器、枕板式热交换器、板框式热交换器、板壳式热交换器、螺旋板式热交换器等)、壳管式热交换器(例如,双管式热交换器等)、针翅式热交换器、板翅式热交换器或任何其他合适的热交换器来实施。CCA热交换器604可以由金属、石墨、陶瓷或具有高导热性和熔点的任何其他材料形成。

[0088] 在图6所示的示例中,油冷却热交换器606可以接收来自润滑剂供应部(例如,油箱)和/或致动系统(例如,氢泵314、热交换流体泵406等)的润滑剂(例如油),以及来自第二导管404的热交换流体。这样,油冷却热交换器606使油加热热交换流体,同时热交换流体冷却油。进而,油冷却热交换器606帮助防止油过热和遇到粘度变化,否则会影响提供给致动系统的润滑。在图6中,油冷却热交换器606可以由壳管式热交换器(例如,双管式热交换器等)或任何其他合适的热交换器来实施。油冷却热交换器606可以由金属、石墨、陶瓷、针翅式热交换器、板翅式热交换器或具有高导热性和熔点的任何其他材料形成。

[0089] 在图6所示的示例中,第三燃气涡轮系统600包括在ECS热交换器602上游与第二导管404连接的第三旁通阀608、在CCA热交换器604上游与第二导管404连接的第四旁通阀610、以及在油冷却热交换器606上游与第二导管404连接的第五旁通阀612。类似于第一和第二旁通阀408、410,控制电路316可以控制第三旁通阀608、第四旁通阀610和第五旁通阀612的位置。例如,控制电路316可以基于第一导管402中的氢的温度和/或压力来控制相应旁通阀608、610、612的位置。具体地,当氢的温度满足(例如,大于)温度阈值和/或当氢的压力满足(例如,大于)压力阈值时,控制电路316可以至少部分地打开第三旁通阀608、第四旁通阀610和/或第五旁通阀612,以减少热交换流体接收的热能的量,进而减少热交换流体在穿过汽化器405时传递到氢的热能的量。

[0090] 例如,当氢的温度和/或压力满足温度阈值和/或压力阈值时,控制电路可以至少部分地打开第三旁通阀608,以使至少一部分热交换流体流过第三旁通导管614而不是ECS热交换器602。类似地,当氢的温度和/或压力满足温度阈值和/或压力阈值时,控制电路316可以至少部分地打开第四旁通阀610,以使至少一部分热交换流体流过第四旁通导管616而不是CCA热交换器604。同样,当氢的温度和/或压力满足温度阈值和/或压力阈值时,控制电路316可以至少部分地打开第五旁通阀612,以使至少一部分热交换流体流过第五旁通导管618而不是油冷却热交换器606。

[0091] 当确定是否分别操作(例如,至少部分地打开或关闭)第三旁通阀608和第四旁通

阀610时,除了考虑第一导管402中的氢的温度和/或压力之外,控制电路316还可以考虑要供应到机身或返回到压缩机区段122的引气的温度和/或压力。例如,当与环境控制系统相关联的引气满足(例如,小于)温度阈值时,控制电路316可以至少部分地打开第三旁通阀608,以使至少一部分热交换流体能够绕过ECS热交换器602,进而减少热交换流体从引气中提取的热量。

[0092] 类似地,在确定是否操作(例如,至少部分地打开或关闭)第五旁通阀612时,控制电路316可以考虑提供给致动系统的与油冷却热交换器606相关联的润滑剂的温度。例如,控制电路316可以响应于润滑剂的温度满足(例如,小于)温度阈值而将第五旁通阀612调整为至少部分地打开。在这方面,控制电路316可以防止热交换流体过度冷却润滑剂,否则会导致润滑剂凝结。

[0093] 虽然图6所示示例的燃气涡轮系统600包括某些部件,但是应当理解,燃气涡轮系统600可以包括除图6中所示的那些部件之外的其他部件。例如,燃气涡轮系统600可包括与第一和/或第二导管402、404连接的附加阀和/或过滤器。附加地或替代地,燃气涡轮系统600可包括与第一导管402连接的一个或多个微调汽化器,以在启动操作期间帮助加热氢,如上所述。

[0094] 图7是图3-6的控制电路316控制图3的第一燃气涡轮系统300、图4的第二燃气涡轮系统400、和/或图6的第三燃气涡轮系统600中的流体的温度的示例实施方式的框图。图3、4、6和/或7的控制电路316可以由执行指令的处理器电路(诸如中央处理单元)实例化(例如,创建实例、在任何时间长度内产生、具体化、实施等)。附加地或替代地,控制电路316可以由被构造成进行对应于指令的操作的ASIC或FPGA实例化(例如,创建实例、在任何时间长度内产生、具体化、实施等)。应当理解,图7的电路中的一些或全部因此可以在相同或不同时间实例化。图7的电路中的一些或全部可以例如在在硬件上并发执行和/或在硬件上串行执行的一个或多个线程中实例化。此外,在一些示例中,图7的电路中的一些或全部可以由在微处理器上执行的一个或多个虚拟机和/或容器来实施。

[0095] 在图7所示的示例中,控制电路316包括氢泵控制电路710、热交换流体泵控制电路720和阀控制电路730。在图7中,控制电路316通信联接到氢泵314、传感器317、燃料计量阀322、安全阀324、热交换流体泵406、第一旁通阀408、第二旁通阀410、第三旁通阀608、第四旁通阀610和第五旁通阀612。如上所述,尽管传感器317被描绘为在某些位置与第一导管402和第二导管404连接,但应当理解,传感器317可以在沿第一导管402和第二导管404的任何位置处获得测量值,并且可以位于遍及第一导管402和第二导管404的各个点处。

[0096] 在图7中,氢泵控制电路710控制氢泵314的输出。例如,氢泵控制电路710可以基于图3的导管302和/或图4和图6的第一导管402中的氢的期望流率来使驱动信号传输到氢泵314。具体地,氢泵控制电路710可以调整驱动信号的电压或电流,从而调整氢泵314的电机驱动推进氢通过导管302、402的叶轮的速率。在一些示例中,氢泵控制电路710基于来自传感器317的输入来确定驱动信号。例如,氢泵控制电路710可以响应于氢的温度满足(例如,大于、大于或等于等)第一温度阈值和/或氢的压力满足(例如,大于、大于或等于等)第一压力阈值而增加氢泵的输出。相反,氢泵控制电路710可以响应于氢的温度满足(例如,小于、小于或等于等)第二温度阈值和/或氢的压力满足(例如,小于、小于或等于等)第二压力阈值而减小氢泵的输出。

[0097] 在图7中,热交换流体泵控制电路720控制热交换流体泵406的输出。例如,热交换流体泵控制电路720可以基于图4和/或6的第二导管404中的热交换流体的期望流率而使驱动信号传输到热交换流体泵406。也就是说,热交换流体泵控制电路720可以控制电压或电流到热交换流体泵的传输,从而控制电机510(图5)驱动叶轮506(图5)的速率,进而控制热交换流体泵406的输出。这样,热交换流体泵控制电路720可以控制第二导管404中的热交换流体的流率,这有助于控制在热交换流体与第一导管402中的氢、空气152(例如,与中间冷却器320(图4-6)相关联的空气152,与ECS热交换器602(图6)相关联的空气152、和/或与CCA热交换器604(图6)相关联的空气152)、和/或与油冷却热交换器606(图6)相关联的润滑剂之间传递的热能的量。

[0098] 例如,热交换流体泵控制电路720可以使热交换流体泵406响应于氢的温度满足(例如,小于)第一温度阈值而增加第二导管404中的热交换流体的流率,使得加热的热交换流体可以以更快的速率被引入汽化器405中,这使得氢能够在汽化器405中接收更多的热能以为燃烧做准备。类似地,热交换流体泵控制电路720可以使热交换流体泵响应于氢的温度满足(例如,大于)第二阈值而减小第二导管中的热交换流体的流率,使得热交换流体在汽化器405中保留更长的时间,并且因此将更少的热能传递到汽化器中的氢,以防止氢在第一导管402中过热和/或变得过压。

[0099] 在图7所示的示例中,阀控制电路730控制燃料计量阀322、安全阀324、第一旁通阀408、第二旁通阀410、第三旁通阀608、第四旁通阀610和第五旁通阀612的位置。例如,阀控制电路730可以控制燃料计量阀322的位置,从而控制进入燃烧器区段124(图3-4和6)的氢的流率。此外,阀控制电路730可以控制安全阀324的位置。例如,阀控制电路730可以使安全阀324关闭以停止氢注入到燃烧器区段124中,并使燃气涡轮100产生推进力。此外,阀控制电路730可以使第一旁通阀408和/或第二旁通阀打开,以响应于第一导管402中的氢满足(例如,大于)温度阈值和/或压力阈值而减少被传递到汽化器405中的氢的热能的量。

[0100] 在图7所示的示例中,阀控制电路730可以使第三旁通阀608打开以响应于ECS热交换器602中的空气152满足(例如,小于)温度阈值和/或压力阈值而减少从ECS热交换器602中的空气152提取的热能的量。同样,阀控制电路730可以使第四旁通阀610打开,以响应于CCA热交换器中的空气152满足(例如,小于)温度阈值和/或压力阈值而减少从CCA热交换器604中的空气提取的热能的量。类似地,阀控制电路730可以使第五旁通阀612打开,以响应于油冷却热交换器606中的润滑剂满足(例如,小于)温度阈值而减少从油冷却热交换器606中的润滑剂提取的热能的量。

[0101] 在一些示例中,第一燃气涡轮系统300、第二燃气涡轮系统400和/或第三燃气涡轮系统600包括用于压缩第一流体的装置。例如,用于压缩的装置可以由图2-4和6的压缩机区段122实施。

[0102] 在一些示例中,第一燃气涡轮系统300、第二燃气涡轮系统400和/或第三燃气涡轮系统600包括用于交换热能以在第一流体和第二流体之间传递热量的第一装置。例如,用于交换热能的第一装置可以由图3-4和6的中间冷却器320实施。

[0103] 在一些示例中,第一燃气涡轮系统300、第二燃气涡轮系统400和/或第三燃气涡轮系统600包括定位在用于压缩的装置后方的用于燃烧的装置。例如,用于燃烧的装置可以由图2-4和6的燃烧器区段124实施。

[0104] 在一些示例中,第一燃气涡轮系统300、第二燃气涡轮系统400和/或第三燃气涡轮系统600包括用于交换热能以在第一流体和第二流体之间传递热量的第二装置。例如,用于交换热能的第二装置可以由图3的导管302实施,其中导管302至少部分地围绕燃气涡轮100的涡轮区段126和/或排气区段128运送氢和/或运送氢至少部分地通过燃气涡轮100的涡轮区段126和/或排气区段128。附加地或替代地,用于交换热能的第二装置可以由图4和/或6的第二导管404实施,其中第二导管404至少部分地围绕燃气涡轮100的涡轮区段126和/或排气区段128运送热交换流体和/或运送热交换流体至少部分地通过燃气涡轮100的涡轮区段126和/或排气区段128。

[0105] 在一些示例中,第二燃气涡轮系统400和/或第三燃气涡轮系统600包括用于交换热能以在第二流体和第三流体之间传递热量的第三装置。例如,用于交换热能的第三装置可以由图4和/或6的汽化器405实施。

[0106] 在一些示例中,第二燃气涡轮系统400和/或第三燃气涡轮系统600包括用于泵送第二流体的装置。例如,用于泵送第二流体的装置可以由图4-6的热交换流体泵406实施。

[0107] 在一些示例中,第二燃气涡轮系统400和/或第三燃气涡轮系统600包括用于控制用于泵送第二流体的装置的装置。例如,用于控制的装置可以由图3-7的控制电路316实施。在一些示例中,控制电路316可以由执行机器可执行指令(诸如至少由图8的框804,图9的框904、906、910、912、916和/或918,和/或图10的框1004、1006、1008、1010、1014、1016、1022、1024、1028、1030、1034和/或1036实施的那些机器可执行指令)的处理器电路(诸如图11的示例处理器电路1112)实例化。在一些示例中,控制电路316可以由硬件、软件和/或固件的任何其他组合实例化。例如,控制电路316可以由被构造为执行机器可读指令中的一些或全部和/或进行对应于机器可读指令的操作中的一些或全部而不执行软件或固件的至少一个或多个硬件电路(例如,处理器电路、分立和/或集成模拟和/或数字电路、FPGA、专用集成电路(ASIC)、比较器、运算放大器(op-amp)、逻辑电路等)来实施,但其他结构同样适用。

[0108] 在一些示例中,第二燃气涡轮系统400和/或第三燃气涡轮系统600包括用于响应于第三流体的流率不满足流率阈值或响应于第三流体的温度满足温度阈值而使第二流体绕过用于交换热能的第三装置的装置。例如,使第二流体绕过用于交换热能的第三装置的装置可以由图4和/或6的控制电路316、第二旁通阀410和/或第二旁通导管411实施。

[0109] 虽然在图7中示出了实施图3-6的控制电路316的示例方式,但是图7中示出的元件、处理和/或装置中的一个或多个可以以任何其他方式组合、划分、重新布置、省略、消除和/或实施。此外,示例氢泵控制电路710、示例热交换流体泵控制电路720、示例阀控制电路730,和/或更一般地,图3-6的示例控制电路316,可以单独由硬件或由硬件结合软件和/或固件来实施。因此,例如,示例氢泵控制电路710、示例热交换流体泵控制电路720、示例阀控制电路730中的任何一个,和/或更一般地,示例控制电路316,可以由处理器电路、模拟电路、数字电路、逻辑电路、可编程处理器、可编程微控制器、图形处理单元(GPU)、数字信号处理器(DSP)、专用集成电路(ASIC)、可编程逻辑器件(PLD)、和/或现场可编程逻辑装置(FPLD)(例如现场可编程门阵列(FPGA))来实施。此外,除了或替代图7中示出的那些,图3-6的示例控制电路316可以包括一个或多个元件、处理和/或装置,和/或可以包括多于一个的任何或所有示出的元件、处理和装置。

[0110] 图8-10中示出了至少部分地表示用于实施图7的控制电路316的示例硬件逻辑电

路、机器可读指令、硬件实施的状态机和/或其任何组合的流程图。机器可读指令可以由处理器电路(例如下面结合图11讨论的示例处理器平台1100中所示的处理器电路1112)执行的一个或多个可执行程序或可执行程序的部分。该程序可以体现在存储在一个或多个非暂时性计算机可读存储介质(例如光盘(CD)、软盘、硬盘驱动器(HDD)、固态驱动器(SSD)、数字多功能盘(DVD)、蓝光盘、与位于一个或多个硬件装置中的处理器电路相关联的易失性存储器(例如,任何类型的随机存取存储器(RAM)等)或非易失性存储器(例如,电可擦除可编程只读存储器(EEPROM)、闪存、HDD、SSD等))上的软件中,但整个程序和/或其部分可以替代地由除处理器电路之外的一个或多个硬件装置执行和/或体现在固件或专用硬件中。机器可读指令可以分布在多个硬件装置上和/或由两个或更多个硬件装置(例如,服务器和客户端硬件装置)执行。例如,客户端硬件装置可以由端点客户端硬件装置(例如,与用户相关联的硬件装置)或中间客户端硬件装置(例如,可以促进服务器和端点客户端硬件装置之间的通信的无线接入网络(RAN)网关)来实施。类似地,非暂时性计算机可读存储介质可以包括位于一个或多个硬件装置中的一个或多个介质。此外,虽然示例程序是参考图8-10中所示的流程图描述的,但是可以替代地使用实施示例控制电路316,和/或更一般地,第一燃气涡轮系统300、第二燃气涡轮系统400和/或第三燃气涡轮系统600的许多其他方法。例如,可以改变框的执行顺序,和/或可以改变、消除或组合所描述的一些框。附加地或替代地,任何或所有框可以由被构造为在不执行软件或固件的情况下进行对应操作的一个或多个硬件电路(例如,处理器电路、离散和/或集成模拟和/或数字电路、FPGA、ASIC、比较器、运算放大器(op-amp)、逻辑电路等)实施。处理器电路可以分布在不同网络位置和/或位于单个机器中的一个或多个硬件装置(例如,单核处理器(例如,单核中央处理器单元(CPU))、多核处理器(例如,多核CPU等)、分布在服务器机架的多个服务器上的多个处理器、分布在一个或多个服务器机架上的多个处理器、位于相同封装中(例如,相同的集成电路(IC)封装或两个或更多个独立外壳中等)的CPU和/或FPGA本地。

[0111] 本文所述的机器可读指令可以以压缩格式、加密格式、分段格式、编译格式、可执行格式、打包格式等中的一种或多种存储。如本文所述的机器可读指令可以被存储为可用于创建、制造和/或产生机器可执行指令的数据或数据结构(例如,存储为指令的部分、代码、代码的表示等)。例如,机器可读指令可以被分段并存储在位于网络或网络集合的相同或不同位置(例如,云中,边缘装置中等)的一个或多个存储装置和/或计算装置(例如,服务器)上。机器可读指令可能需要安装、修改、适配、更新、组合、补充、构造、解密、解压缩、解包、分布、重新分配、编译等中的一种或多种,以使它们直接可由计算装置和/或其它机器读取,解释和/或执行。例如,机器可读指令可以存储在多个部分中,这些部分被单独压缩、加密和/或存储在单独的计算装置上,其中这些部分在解密、解压缩和/或组合时形成一组机器可执行指令,该组机器可执行指令实施可以一起形成诸如本文描述的程序的一个或多个操作。

[0112] 在另一个示例中,机器可读指令可以被存储在它们可以被处理器电路读取的状态,但是需要添加库(例如,动态链接库(DLL))、软件开发工具包(SDK)、应用程序编程接口(API)等,以便在特定计算装置或其它装置上执行机器可读指令。在另一示例中,可能需要在机器可读指令和/或对应程序可以整体或部分执行之前构造机器可读指令(例如,存储的设置、数据输入、记录的网络地址等)。因此,本文使用的机器可读介质可以包括机器可读指

令和/或程序,而不管机器可读指令和/或程序在存储或以其他方式处于静止或处于传输时的特定格式或状态如何。

[0113] 本文描述的机器可读指令可以由任何过去、现在或将来的指令语言、脚本语言、编程语言等来表示。例如,机器可读指令可以使用任何以下语言来表示:C、C++、Java、C#、Perl、Python、JavaScript、超文本标记语言(HTML)、结构化查询语言(SQL)、Swift等。

[0114] 如上所述,图8-10的示例操作可以至少部分地使用存储在一个或多个非暂时性计算机和/或机器可读介质(例如光存储装置、磁存储装置、HDD、闪存、只读存储器(ROM)、CD、DVD、高速缓存、任何类型的RAM、寄存器和/或信息存储任何持续时间(例如,延长的时间段、永久、短暂的实例、临时缓冲和/或缓存信息)的任何其他存储装置或存储盘)上的可执行指令(例如,计算机和/或机器可读指令)来实施。如本文所用,术语非暂时性计算机可读介质和非暂时性计算机可读存储介质被明确限定为包括任何类型的计算机可读存储装置和/或存储盘,并且排除传播信号和排除传输介质。

[0115] 图8是表示示例机器可读指令和/或示例操作800的流程图,其可以由处理器电路部分地执行和/或实例化以操作图3的第一燃气涡轮系统300。图8的操作800开始于框802,在框802处风扇104(图2-4和/或6)使空气152(图2-4和/或6)流过燃气涡轮100(图2-4和/或6)。例如,风扇104可以旋转以驱动空气152通过燃气涡轮100。

[0116] 在框804处,控制电路316(图3-7)使氢泵314(图3-4和/或6)驱动氢通过导管302(图3)。例如,氢泵控制电路710(图7)可以使驱动信号传输到氢泵314,以控制氢的输出流率。在一些示例中,氢泵控制电路710基于由传感器317(图3-4和/或6)测量的氢的流率来调整驱动信号,使得燃烧器区段124中的氢的燃烧流率满足(例如,大于或等于)燃烧流率阈值。

[0117] 在框806处,中间冷却器320(图3-4和/或6)使氢从流过燃气涡轮100的前部(例如,燃气涡轮100的燃烧器区段124(图2-4和/或6)前方的一部分)的空气152接收热能。例如,中间冷却器320可以经由导管302接收液态形式的氢。进而,中间冷却器320使热交换流体能够从流过中间冷却器320的空气152中提取热量。进而,中间冷却器320也使氢能够冷却空气152。

[0118] 在框808处,导管302使氢从流过燃气涡轮100的后部(例如,燃气涡轮100的燃烧器区段124后方的一部分)的燃烧气体160接收热能。例如,导管302可以使氢至少部分地围绕燃气涡轮100的后部流动和/或至少部分地流动通过燃气涡轮100的后部。具体地,导管302可以至少部分地围绕涡轮区段126(图2-4和/或6)和/或排气区段128(图2-4和/或6)运送氢和/或运送氢至少部分地通过涡轮区段126(图2-4和/或6)和/或排气区段128(图2-4和/或6)。进而,导管302中的氢可以从流过涡轮区段126和/或排气区段128的燃烧气体160接收热能。在一些示例中,当导管302至少部分地围绕涡轮区段126和/或排气区段128运送氢和/或运送氢至少部分地通过涡轮区段126和/或排气区段128时,燃烧气体160使氢汽化(例如,从液态转变为气态或超临界相)。

[0119] 在框810处,喷嘴304(图3-4和/或6)将氢注入到燃烧器区段124中。结果,氢可以在燃烧器区段124中与空气152混合,在燃烧器区段124中空气152和氢参与燃烧反应以产生驱动涡轮区段126的转子叶片144,并进而驱动LP轴146(图2)和HP轴148(图2)的旋转的机械能。因此,LP轴146和HP轴148的旋转可以使风扇104和压缩机区段122的转子叶片136(图2)

旋转,并拉动更多的空气152通过燃气涡轮100。因此,燃烧可以帮助推进飞行器10(图1)。替代地,当燃气涡轮100是发电机时,LP轴146和/或HP轴148的旋转可以使得产生电力。

[0120] 图9是表示示例机器可读指令和/或示例操作900的流程图,其可以由处理器电路部分地执行和/或实例化以操作图4的第二燃气涡轮系统400。图9的操作900开始于框902,在框902处风扇104(图2-4和/或6)使空气152(图2-4和/或6)流过燃气涡轮100(图2-4和/或6)。例如,风扇104可以旋转以驱动空气152通过燃气涡轮100。

[0121] 在框904处,控制电路316(图3-7)使氢泵314(图3-4和/或6)驱动氢通过第一导管402(图4和/或6)。例如,氢泵控制电路710(图7)可以使驱动信号传输到氢泵314以控制氢的输出流率。在一些示例中,氢泵控制电路710基于由传感器317(图3-4和/或6)测量的氢的温度、压力和/或流率来调整到氢泵314的驱动信号。

[0122] 在框906处,控制电路316使热交换流体泵406(图4和/或6)驱动热交换流体通过第二导管404(图4和/或6)。例如,热交换流体泵控制电路720(图7)可以使驱动信号传输到热交换流体泵406,以控制热交换流体的输出流率。在一些示例中,热交换流体泵控制电路720基于第一导管402中的氢的温度、压力和/或流率来调整到热交换流体泵406的驱动信号。

[0123] 在框908处,中间冷却器320(图3-4和/或6)使热交换流体从流过燃气涡轮100的前部(例如,燃气涡轮100的燃烧器区段124(图2-4和/或6)前方的一部分)的空气152接收热能。例如,中间冷却器320可以定位在燃气涡轮100的风扇104和压缩机区段122(图2-4和/或6)之间。此外,中间冷却器320可以经由第二导管404接收热交换流体或第二导管404可以穿过中间冷却器320。进而,中间冷却器320使热交换流体能够从流过中间冷却器320的空气152提取热量。进而,中间冷却器320还使热交换流体能够冷却空气152,同时空气加热热交换流体。

[0124] 在框910处,控制电路316确定是否使热交换流体至少部分地绕过燃气涡轮100的后部(例如,燃气涡轮100的燃烧器区段124后方的一部分)。例如,阀控制电路730(图7)可以将第一导管402中的氢的温度与第一温度阈值进行比较,和/或将第一导管402中的氢的压力与第一压力阈值进行比较。响应于氢的温度满足(例如,大于)第一温度阈值和/或氢的压力满足(例如,大于)第一压力阈值,操作进行到框912。否则,响应于氢的温度不满足第一温度阈值和/或第一导管402中的氢的压力不满足第一压力阈值,操作进行到框914。

[0125] 在框912处,控制电路316调整第一旁通阀408(图4和/或6)的位置。例如,阀控制电路730可以使第一旁通阀408至少部分地打开,以使热交换流体能够进入第一旁通导管409(图4和/或6)。在一些示例中,流过第一旁通导管409的热交换流体不从流过涡轮区段126和/或排气区段128的燃烧气体160(图2-4和/或6)接收热能。在一些示例中,流过第一旁通导管409的热交换流体从燃烧气体160接收减少量的热能。

[0126] 在框914处,第二导管404使热交换流体从燃气涡轮100的后部接收热能。例如,第二导管404可以至少部分地围绕涡轮区段126和/或排气区段128运送热交换流体和/或运送热交换流体至少部分地通过涡轮区段126和/或排气区段128。结果,第二导管404可以使热交换流体从燃烧气体160接收热能。

[0127] 在框916处,控制电路316确定是否使热交换流体至少部分地绕过汽化器405(图4和/或6)。例如,阀控制电路730可以将第一导管402中的氢的温度与第二温度阈值进行比较,和/或将氢的压力与第二压力阈值进行比较。响应于氢的温度满足(例如,大于)第二温

度阈值和/或氢的压力满足(例如,大于)第二压力阈值,操作进行到框918。否则,响应于氢的温度不满足第二温度阈值和/或氢的压力不满足第二压力阈值,操作进行到框920。

[0128] 在框918处,控制电路316调整第二旁通阀410(图4和/或6)的位置。例如,阀控制电路730可以响应于氢的温度满足第二温度阈值和/或氢的压力满足第二压力阈值而使第二旁通阀410至少部分地打开。结果,至少部分地打开第二旁通阀410可以使至少一部分热交换流体流过第二旁通导管411并绕过汽化器405。因此,第二旁通导管411中的热交换流体不会将热量传递给氢。在一些示例中,第二旁通导管411与能够降低热交换流体的温度的另一个热交换器连接。

[0129] 在框920处,汽化器405使氢从热交换流体接收热能。例如,汽化器405可以被实施为壳管式热交换器、双管式热交换器或使热量能够从热交换流体传递到氢的任何其他类型的热交换器。进而,热量可以使氢从液态转变为气态或超临界相。

[0130] 在框922处,喷嘴304(图3-4和/或6)将氢注入到燃烧器区段124中。结果,氢可以在燃烧器区段124中与空气152混合,在燃烧器区段124中空气152和氢参与燃烧反应以产生驱动涡轮区段126的转子叶片144,并进而驱动LP轴146(图2)和HP轴148(图2)的旋转的机械能。因此,LP轴146和HP轴148的旋转可以使风扇104和压缩机区段122的转子叶片136(图2)旋转并拉动更多的空气152通过燃气涡轮100。因此,燃烧可以帮助推进飞行器10(图1)。替代地,当燃气涡轮100是发电机时,LP轴146和/或HP轴148的旋转可以使得产生电力。

[0131] 图10是表示示例机器可读指令和/或示例操作1000的流程图,其可以由处理器电路部分地执行和/或实例化以操作图6的第三燃气涡轮系统600。图10的操作1000开始于框1002,在框1002处风扇104(图2-4和/或6)使空气152(图2-4和/或6)流过燃气涡轮100(图2-4和/或6)。例如,风扇104可以旋转以驱动空气152通过燃气涡轮100。

[0132] 在框1004处,控制电路316(图3-7)使氢泵314(图3-4和/或6)驱动氢通过第一导管402(图4和/或6)。例如,氢泵控制电路710(图7)可以使驱动信号传输到氢泵314以控制氢的输出流率。在一些示例中,氢泵控制电路710基于由传感器317(图3-4和/或6)测量的氢的温度、压力和/或流率来调整到氢泵314的驱动信号。

[0133] 在框1006处,控制电路316使热交换流体泵406(图4和/或6)驱动热交换流体通过第二导管404(图4和/或6)。例如,热交换流体泵控制电路720(图7)可以使驱动信号传输到热交换流体泵406,以控制热交换流体的输出流率。在一些示例中,热交换流体泵控制电路720基于第一导管402中的氢的温度、压力和/或流率来调整到热交换流体泵406的驱动信号。

[0134] 在框1008处,控制电路316确定是否使热交换流体至少部分地绕过ECS热交换器602(图6)。例如,阀控制电路730(图7)可以将通过ECS热交换器602和/或与环境控制系统相关联的空气152的温度和/或压力与第一温度阈值和/或第一压力阈值进行比较。响应于空气152的温度满足(例如,小于)第一温度阈值和/或空气152的压力满足(例如,小于)第一压力阈值,操作进行到框1010。否则,响应于空气152的温度不满足(例如,大于)第一温度阈值和/或空气152的压力不满足(例如,大于)第一压力阈值,操作进行到框1012。

[0135] 在框1010处,控制电路316调整第三旁通阀608(图6)的位置。例如,阀控制电路730(图7)可以使第三旁通阀608至少部分地打开,以使热交换流体能够进入第三旁通导管614。因此,至少一部分热交换流体可以绕过ECS热交换器602,这可以使ECS热交换器602中的空

气152将减少量的热量排放到热交换流体中,因为热交换流体可以在ECS热交换器602中保留增加的时间段,这可以使热交换流体以更快的速率达到增加的温度或稳定温度(plateau temperature)。

[0136] 在框1012处,ECS热交换器602使热交换流体从从压缩机区段122排出的一部分空气152接收热能。例如,ECS热交换器602可以与导管连接,该导管接收从压缩机区段122排出的一部分空气152并将空气152传送到飞行器10(图1),在此空气152可以用于向机身12提供加压。因此,ECS热交换器602可以接收热交换流体和空气152以供应给飞行器10,并且进而使热交换流体冷却并压缩空气152,同时空气152加热热交换流体。

[0137] 在框1014处,控制电路316确定是否使热交换流体绕过CCA热交换器604(图6)。例如,阀控制电路730可以确定中间冷却器320中的热交换流体的温度是否满足(例如,小于)第二温度阈值。此外,响应于中间冷却器320中的热交换流体的温度不满足(例如,大于)第二温度阈值,操作进行到框1016。否则,操作进行到框1018。

[0138] 在框1016处,控制电路316调整第四旁通阀610的位置。例如,阀控制电路730可以使第四旁通阀至少部分地打开,以使至少一部分热交换流体能够流过第四旁通导管616而不是CCA热交换器604。进而,通过绕过CCA热交换器604,热交换流体可以保持在降低的温度,并因此第二导管404可以向中间冷却器320供应更冷的热交换流体。

[0139] 在框1018处,CCA热交换器604使热交换流体从从压缩机区段122排出的一部分空气152接收热能。例如,CCA热交换器604可以与导管连接,该导管接收从压缩机区段122排出的一部分空气152并且将空气152返回到压缩机区段122的后级。因此,CCA热交换器604可以使热交换流体冷却并压缩空气152,同时空气152加热热交换流体。

[0140] 在框1020处,中间冷却器320使热交换流体从流过燃气涡轮100的前部(例如,燃气涡轮100的燃烧器区段124(图2-4和/或6)前方的一部分)的空气152接收热能。例如,中间冷却器320可以定位在燃气涡轮100的压缩机区段122(图2-4和/或6)的级之间(例如,LP压缩机130(图2)和HP压缩机132(图2)之间,一级转子叶片136(图2)和一级定子轮叶134(图2)之间等)。此外,中间冷却器320可以经由第二导管404接收热交换流体或第二导管404可以穿过中间冷却器320。进而,中间冷却器320使热交换流体能够从流过中间冷却器320的空气152提取热量。进而,中间冷却器320使热交换流体能够冷却空气152,同时空气152加热热交换流体。

[0141] 在框1022处,控制电路316确定是否使热交换流体绕过油冷却热交换器606(图6)。例如,阀控制电路730可以将中间冷却器320中的热交换流体的温度与第三温度阈值进行比较。附加地或替代地,阀控制电路730可以将通过油冷却热交换器606的油的温度与第四温度阈值进行比较。响应于中间冷却器320中的热交换流体的温度满足(例如,小于)第三温度阈值和/或油的温度满足(例如,小于)第四温度阈值,操作进行到框1024。否则,操作进行到框1026。

[0142] 在框1024处,控制电路316调整第五旁通阀612(图6)的位置。例如,阀控制电路730可以响应于中间冷却器320中的热交换流体的温度满足第三温度阈值和/或油的温度满足第四温度阈值而使第五旁通阀612至少部分地打开。结果,至少一部分热交换流体可以进入第五旁通导管618(图6),并因此避开油冷却热交换器606。进而,油冷却热交换器可以使其中的油能够将减少量的热能排放到热交换流体中,使得油可以保持高于可能以其他方式使

油凝结的温度。

[0143] 在框1026处,油冷却热交换器606使热交换流体从油接收热能。例如,油冷却热交换器606可以与油供应部和/或利用油作为润滑剂的一个或多个致动系统(例如热交换流体泵406(图4-6)和/或氢泵314(图3-6))连接。进而,油冷却热交换器606可以使油加热热交换流体,同时热交换流体冷却油。

[0144] 在框1028处,控制电路316确定是否使热交换流体至少部分地绕过燃气涡轮100的后部(例如,燃气涡轮100的燃烧器区段124后方的一部分)。例如,阀控制电路730可以将第一导管402中的氢的温度与第五温度阈值进行比较,和/或将第一导管402中的氢的压力与第三压力阈值进行比较。响应于氢的温度满足(例如,大于)第五温度阈值和/或氢的压力满足(例如,大于)第三压力阈值,操作进行到框1030。否则,响应于氢的温度不满足第五温度阈值和/或第一导管402中的氢的压力不满足第三压力阈值,操作进行到框1032。

[0145] 在框1030处,控制电路316调整第一旁通阀408(图4和/或6)的位置。例如,阀控制电路730可以使第一旁通阀408至少部分地打开,以使热交换流体能够进入第一旁通导管409(图4和/或6)。在一些示例中,流过第一旁通导管409的热交换流体不从流过涡轮区段126和/或排气区段128的燃烧气体160(图2-4和/或6)接收热能。在一些示例中,流过第一旁通导管409的热交换流体从燃烧气体160接收减少量的热能。

[0146] 在框1032处,第二导管404使热交换流体从燃气涡轮100的后部接收热能。例如,第二导管404可以至少部分地围绕涡轮区段126和/或排气区段128运送热交换流体和/或运送热交换流体至少部分地通过涡轮区段126和/或排气区段128。结果,第二导管404可以使热交换流体从燃烧气体160接收热能。

[0147] 在框1034处,控制电路316确定是否使热交换流体至少部分地绕过汽化器405(图4和/或6)。例如,阀控制电路730可以将第一导管402中的氢的温度与第六温度阈值进行比较,和/或将氢的压力与第四压力阈值进行比较。响应于氢的温度满足(例如,大于)第六温度阈值和/或氢的压力满足(例如,大于)第四压力阈值,操作进行到框1036。否则,响应于氢的温度不满足第六温度阈值和/或氢的压力不满足第四压力阈值,操作进行到框1038。

[0148] 在框1036处,控制电路316调整第二旁通阀410(图4和/或6)的位置。例如,阀控制电路730可以响应于氢的温度满足第六温度阈值和/或氢的压力满足第四压力阈值而使第二旁通阀410至少部分地打开。结果,至少部分地打开第二旁通阀410可以使至少一部分热交换流体流过第二旁通导管411并绕过汽化器405。因此,第二旁通导管411中的热交换流体不会将热量传递给氢。在一些示例中,第二旁通导管411与能够降低热交换流体的温度的另一个热交换器连接。

[0149] 在框1038处,汽化器405使氢从热交换流体接收热能。例如,汽化器405可以被实施为壳管式热交换器、双管式热交换器或使热量能够从热交换流体传递到氢的任何其他类型的热交换器。进而,热量可以使氢从液态转变为气态或超临界相。

[0150] 在框1040处,喷嘴304(图3-4和/或6)将氢注入到燃烧器区段124中。结果,氢可以在燃烧器区段124中与空气152混合,在燃烧器区段124中空气152和氢可以参与燃烧反应以产生驱动涡轮区段126的转子叶片144,并进而驱动LP轴146(图2)和HP轴148(图2)的旋转的机械能。因此,LP轴146和HP轴148的旋转可以使风扇104和压缩机区段122的转子叶片136(图2)旋转,并拉动更多的空气152通过燃气涡轮100。因此,燃烧可以帮助推进飞行器10(图

1)。替代地,当燃气涡轮100是发电机时,LP轴146和/或HP轴148的旋转可以使得产生电力。

[0151] 图11是示例处理器平台1100的框图,示例处理器平台1100被构造为执行和/或实例化机器可读指令和/或图8-10的操作,以实施图3的第一燃气涡轮系统300、图4的第二燃气涡轮系统400、和/或图6的第三燃气涡轮系统600。处理器平台1100可以是例如服务器、工作站、自学习机(例如,神经网络)或任何其他类型的计算装置。

[0152] 所示示例的处理器平台1100包括处理器电路1112。所示示例的处理器电路1112是硬件。例如,处理器电路1112可以由一个或多个集成电路、逻辑电路、FPGA、微处理器、CPU、GPU、DSP和/或来自任何期望系列或制造商的微控制器来实施。处理器电路1112可以由一个或多个基于半导体(例如,基于硅)的装置来实施。在该示例中,处理器电路1112实施控制电路316,包括氢泵控制电路710、热交换流体泵控制电路720和阀控制电路730。

[0153] 所示示例的处理器电路1112包括本地存储器1113(例如,高速缓存、寄存器)。所示示例的处理器电路1112通过总线1118与包括易失性存储器1114和非易失性存储器1116的主存储器通信。易失性存储器1114可以由同步动态随机存取存储器(SDRAM)、动态随机存取存储器(DRAM)、RAMBUS®动态随机存取存储器(RDRAM®)和/或任何其他类型的RAM装置来实施。非易失性存储器1116可以由闪存和/或任何其他期望类型的存储装置来实施。对所示示例的主存储器1114、1116的访问由存储器控制器1117控制。

[0154] 所示示例的处理器平台1100还包括接口电路1120。接口电路1120可以根据任何类型的接口标准(例如以太网接口、通用串行总线(USB)接口、蓝牙®接口、近场通信(NFC)接口、外围部件互连(PCI)接口和/或外围部件互连高速(PCIe)接口)由硬件实施。

[0155] 在所示示例中,一个或多个输入装置1122连接到接口电路1120。输入装置1122允许用户将数据和/或命令输入处理器电路1112。输入装置1122可以通过例如一个或多个温度传感器、一个或多个压力传感器和/或一个或多个流率传感器来实施。在该示例中,输入装置1122与图3、4和/或6的传感器317连接。

[0156] 一个或多个输出装置1124也连接到所示示例的接口电路1120。输出装置1124可以例如由一个或多个致动器来实施。在该示例中,输出装置1124与图3、4和/或6的氢泵314,图3、4和/或6的燃料计量阀322,图3、4和/或6的安全阀324,图4-6的热交换流体泵406,图4和/或6的第一旁通阀408、图4和/或6的第二旁通阀410,图6的第三旁通阀608,图6的第四旁通阀610,和/或图6的第五旁通阀612连接。因此,所示示例的接口电路1120通常包括图形驱动卡、图形驱动芯片和/或图形处理器电路(诸如GPU)。

[0157] 所示示例的接口电路1120还包括通信装置(例如发射器、接收器、收发器、调制解调器、住宅网关、无线接入点和/或网络接口),以促进通过网络1126与外部机器(例如,任何种类的计算装置)的数据交换。通信可以是通过例如以太网连接、数字用户线(DSL)连接、电话线连接、同轴电缆系统、卫星系统、现场无线系统、蜂窝电话系统、光学连接等。

[0158] 所示示例的处理器平台1100还包括一个或多个大容量存储装置1128,以存储软件和/或数据。此类大容量存储装置1128的示例包括磁存储装置、光存储装置、软盘驱动器、HDD、CD、蓝光盘驱动器、独立盘冗余阵列(RAID)系统、固态存储装置(诸如闪存装置和/或SSD)和DVD驱动器。

[0159] 可以由图8-10的机器可读指令实施的机器可执行指令1132可以存储在大容量存储装置1128、易失性存储器1114、非易失性存储器1116中,和/或存储在可移动非暂时性计

计算机可读存储介质(例如CD或DVD)上。

[0160] 从上文中可以理解,示例系统、方法、设备和制品已经被公开,其用氢作为燃烧燃料来操作燃气涡轮。本文公开的示例燃气涡轮系统有效地将液态或低温氢转化为气态或超临界可燃形式。此外,本文公开的示例燃气涡轮系统从其他工作流体(例如流过压缩机的空气)提取热量,这增加了空气的密度。进而,可以更有效地压缩空气,从而提高燃气涡轮的整体压力比,同时降低压缩机的功输入。例如,压缩机可包括减小的尺寸、更少的级和/或减小的叶片速度。此外,本文公开的燃气涡轮系统控制氢接收的热量,使得液态或低温氢可以被加热到可燃温度范围而不会引起自燃。类似地,本文公开的燃气涡轮系统控制其他工作流体接收的热量,以将这种工作流体维持在特定温度和/或压力范围内。

[0161] 燃气涡轮系统的前述示例可用于产生用于航空、海洋应用、齿轮箱、离岸发电机、陆地发电厂等的动力和/或机械驱动。尽管上面公开的每个示例燃气涡轮系统都具有某些特征,但应当理解,一个示例燃气涡轮的特定特征没有必要专门用于该示例。相反,除了那些示例的任何其他特征之外或替代那些示例的任何其他特征,上述和/或附图中描绘的任何特征可以与任何示例组合。一个示例的特征与另一个示例的特征并不互斥。相反,本公开的范围包含任何特征的任意组合。

[0162] 本文公开了用氢作为燃烧燃料操作燃气涡轮的示例方法、设备、系统和制品。进一步示例及其组合包括以下内容:

[0163] 示例1包括一种燃气涡轮系统,所述燃气涡轮系统包括:中间冷却器,所述中间冷却器设置在风扇和压缩机的至少一部分之间;以及至少一个导管,所述至少一个导管限定输送流体的流动路径,所述流动路径包括第一部分和第二部分,所述流动路径的所述第一部分将所述流体运送到或通过所述中间冷却器,所述流动路径的所述第二部分至少部分地围绕压缩机下游的低压涡轮或所述低压涡轮下游的排气区段中的至少一个运送所述流体。

[0164] 示例2包括根据任何前述条项所述的燃气涡轮系统,其中,所述流体是氢,其中所述至少一个导管限定所述流动路径的所述第一部分和所述第二部分下游的第三部分,进一步包括至少一个燃烧器喷嘴,所述流动路径的所述第三部分将所述氢运送到所述至少一个燃烧器喷嘴。

[0165] 示例3包括根据任何前述条项所述的燃气涡轮系统,其中,所述至少一个导管限定所述流动路径的所述第一部分下游的所述第二部分。

[0166] 示例4包括根据任何前述条项所述的燃气涡轮系统,其中,所述流体是热交换流体,所述至少一个导管是至少一个第一导管,并且所述流动路径是第一流动路径,进一步包括:热交换流体泵,所述热交换流体泵与所述至少一个第一导管连接,所述热交换流体泵驱动所述热交换流体通过所述第一流动路径;至少一个燃烧器喷嘴,所述至少一个燃烧器喷嘴将氢注入到燃烧器中;至少一个第二导管,所述至少一个第二导管限定第二流动路径,以将所述氢输送到所述至少一个燃烧器喷嘴;以及汽化器,所述汽化器与所述至少一个第一导管和所述至少一个第二导管连接,所述汽化器使热能在所述热交换流体和所述氢之间传递。

[0167] 示例5包括根据任何前述条项所述的燃气涡轮系统,进一步包括:存储器;指令,所述指令在所述燃气涡轮系统中;以及处理器电路,所述处理器电路基于所述热交换流体的温度或所述氢的温度中的至少一个,控制到所述热交换流体泵的驱动信号,其中所述驱动

信号控制所述热交换流体的流率。

[0168] 示例6包括根据任何前述条项所述的燃气涡轮系统,进一步包括与所述至少一个第一导管连接的旁通阀,所述旁通阀响应于所述第二流动路径中的所述氢的压力满足压力阈值而使所述热交换流体绕过所述汽化器。

[0169] 示例7包括根据任何前述条项所述的燃气涡轮系统,其中,所述旁通阀是第一旁通阀,进一步包括与所述至少一个第一导管连接的第二旁通阀,所述第二旁通阀响应于所述热交换流体的所述温度满足第一温度阈值或所述氢的所述温度满足第二温度阈值中的至少一个而使所述热交换流体绕过所述流动路径的所述第二部分。

[0170] 示例8包括根据任何前述条项所述的燃气涡轮系统,进一步包括与所述至少一个第一导管和所述压缩机连接的热交换器,所述热交换器接收来自所述压缩机的引气,所述热交换器使所述引气将热能传递到所述热交换流体。

[0171] 示例9包括根据任何前述条项所述的燃气涡轮系统,其中,所述热交换器是第一热交换器,进一步包括以下中的至少一个:第二热交换器,所述第二热交换器与所述至少一个第一导管和向机身提供空气的环境控制系统连接;或第三热交换器,所述第三热交换器与所述至少一个第一导管和向致动器提供润滑剂的润滑系统连接。

[0172] 示例10包括根据任何前述条项所述的燃气涡轮系统,其中,所述热交换流体是超临界二氧化碳。

[0173] 示例11包括根据任何前述条项所述的燃气涡轮系统,其中,所述第一流动路径是闭合环路。

[0174] 示例12包括根据任何前述条项所述的燃气涡轮系统,其中,所述第二流动路径包括第一部分和第二部分,所述第二流动路径的所述第一部分限定在所述汽化器的上游,所述第二流动路径的所述第二部分限定在所述汽化器的下游,其中所述氢在所述第二流动路径的所述第一部分中处于液态,其中所述氢在所述第二流动路径的所述第二部分中处于气态或超临界相。

[0175] 示例13包括一种用氢操作燃气涡轮的方法,所述方法包括:使第一流体轴向流过所述燃气涡轮;随着所述第一流体流过所述燃气涡轮的第一部分,使第二流体从所述第一流体接收第一热能,所述燃气涡轮的所述第一部分在所述燃气涡轮的压缩机的至少一部分上游;以及随着所述第一流体流过所述燃气涡轮的第二部分,使所述第二流体从所述第一流体接收第二热能,所述燃气涡轮的所述第二部分在所述燃气涡轮的燃烧器下游。

[0176] 示例14包括根据任何前述条项所述的方法,进一步包括:使第三流体从所述第二流体接收第三热能;以及将所述第三流体注入到所述燃烧器中,其中将所述第三流体注入到所述燃烧器中使所述第三流体和所述第一流体混合。

[0177] 示例15包括根据任何前述条项所述的方法,进一步包括:使所述第二流体从第四流体接收第四热能,其中所述第四流体将被提供给机身;以及使所述第二流体从第五流体接收第五热能,其中所述第五流体是与致动系统相关联的润滑剂。

[0178] 示例16包括根据任何前述条项所述的方法,进一步包括:使所述第一流体的一部分离开所述燃气涡轮的轴向流动路径;使所述第二流体从所述第一流体的所述一部分接收第四热能;以及将所述第一流体的所述一部分引回到所述燃气涡轮的所述轴向流动路径中。

[0179] 示例17包括一种用氢操作燃气涡轮的设备,所述设备包括:用于压缩第一流体的装置;用于交换热能以在所述第一流体和第二流体之间传递热量的第一装置,用于交换热能的所述第一装置定位在用于压缩的所述装置的至少一部分的前方;用于燃烧的装置,用于燃烧的所述装置定位在用于压缩的所述装置后方;以及用于交换热能以在所述第一流体和所述第二流体之间传递热量的第二装置,用于交换热能的所述第二装置定位在用于燃烧的所述装置后方。

[0180] 示例18包括根据任何前述条项所述的设备,进一步包括用于交换热能以在所述第二流体和第三流体之间传递热量的第三装置,其中用于燃烧的所述装置将利用所述第一流体和所述第三流体。

[0181] 示例19包括根据任何前述条项所述的设备,进一步包括:用于泵送所述第二流体的装置;以及用于控制用于泵送所述第二流体的所述装置的装置,其中用于控制的所述装置响应于所述第三流体的一部分的温度满足温度阈值而降低用于泵送的所述装置的输出流率。

[0182] 示例20包括根据任何前述条项所述的设备,进一步包括用于响应于所述第三流体的压力满足压力阈值或响应于所述第三流体的温度满足温度阈值而使所述第二流体绕过用于交换热能的所述第三装置的装置。

[0183] 示例21包括一种用氢操作燃气涡轮发动机的设备,所述设备包括:风扇;压缩机;中间冷却器,所述中间冷却器设置在所述风扇和所述压缩机之间;燃烧器;至少一个喷嘴,所述至少一个喷嘴流体联接到所述燃烧器;导管,所述导管运送流体,所述导管包括第一部分、第二部分和第三部分,所述第二部分定位在所述第一部分和所述第三部分之间,所述导管的所述第一部分运送所述流体通过所述中间冷却器,所述导管的第二部分运送所述流体通过所述燃气涡轮发动机的后部或围绕所述燃气涡轮发动机的后部运送所述流体中的至少一个,所述燃料管线的所述第三部分将所述氢运送到所述至少一个喷嘴;以及氢泵,所述氢泵驱动氢通过所述流体管线。

[0184] 示例22包括用氢操作燃气涡轮的方法,所述方法包括:使第一流体流过设置在所述燃气涡轮的压缩机的至少一部分上游的中间冷却器,其中当所述第一流体流过所述中间冷却器时,所述第一流体从第二流体接收热能;以及使所述流体流过所述燃气涡轮的后部或至少部分地围绕所述燃气涡轮的后部流动中的至少一个,所述燃气涡轮的所述后部包括涡轮区段或排气区段中的至少一个,其中当所述第一流体流过所述燃气涡轮的所述后部或至少部分地围绕所述燃气涡轮的所述后部流动中的至少一个时,所述第一流体从所述第二流体接收热能。

[0185] 示例23包括至少一个非暂时性计算机可读介质,所述非暂时性计算机可读介质包含指令,所述指令在被执行时使一个或多个处理器:至少使第一流体轴向流过所述燃气涡轮;随着所述第一流体流过所述燃气涡轮的第一部分,使第二流体从所述第一流体接收第一热能,所述燃气涡轮的所述第一部分在所述燃气涡轮的压缩机的至少一部分上游;并且随着所述第一流体流过所述燃气涡轮的第二部分,使所述第二流体从所述第一流体接收第二热能,所述燃气涡轮的所述第二部分在所述燃气涡轮的燃烧器下游。

[0186] 示例24包括根据任何前述示例所述的计算机可读介质,其中,所述指令在被执行时使所述一个或多个处理器:使第三流体从所述第二流体接收第三热能;并且使所述第三

流体被注入到所述燃烧器中,其中将所述第三流体注入到所述燃烧器中使所述第三流体和所述第一流体混合。

[0187] 示例25包括根据任何前述条项所述的计算机可读介质,其中,所述指令在被执行时使所述一个或多个处理器:使所述第二流体从第四流体接收第四热能,其中所述第四流体将被提供给机身;并且使所述第二流体从第五流体接收第五热能,其中所述第五流体是与致动系统相关联的润滑剂。

[0188] 示例26包括根据任何前述条项所述的计算机可读介质,其中,所述指令在被执行时使所述一个或多个处理器基于所述第二流体的温度或所述第三流体的温度中的至少一个来控制到驱动所述第二流体的泵的驱动信号,其中所述驱动信号控制所述第二流体的流率。

[0189] 示例27包括根据任何前述示例所述的燃气涡轮系统,其中,所述中间冷却器设置在所述风扇和所述压缩机的靠近所述风扇的一级之间。

[0190] 示例28包括根据任何前述示例所述的燃气涡轮系统,其中,所述中间冷却器设置在所述压缩机的第一级和所述压缩机的所述第一级下游的第二级之间。

[0191] 示例29包括一种燃气涡轮系统,所述燃气涡轮系统包括:储氢罐;中间冷却器,所述中间冷却器设置在风扇和压缩机之间;一个或多个燃烧器喷嘴;至少一个导管,所述至少一个导管限定流动路径以在所述储氢罐和所述一个或多个燃烧器喷嘴之间输送氢,所述流动路径包括第一部分和第二部分,所述流动路径的所述第一部分将所述氢运送到或通过所述中间冷却器,所述流动路径的所述第二部分至少部分地围绕燃烧器下游的低压涡轮和所述低压涡轮下游的排气区段运送所述氢;泵,所述泵驱动所述氢通过所述至少一个导管;一个或多个传感器,所述一个或多个传感器测量所述至少一个导管中的所述氢的温度、压力或流率中的至少一个;一个或多个计量阀,所述一个或多个计量阀可操作地联接到所述至少一个导管;以及控制电路,所述控制电路可操作地联接到所述泵、所述一个或多个传感器和所述一个或多个计量阀。

[0192] 示例30包括一种燃气涡轮系统,所述燃气涡轮系统包括:储氢罐;中间冷却器,所述中间冷却器设置在风扇和压缩机之间;一个或多个燃烧器喷嘴;至少一个第一导管,所述至少一个第一导管限定第一流动路径以在所述储氢罐和所述一个或多个燃烧器喷嘴之间输送氢;至少一个第二导管,所述至少一个第二导管限定第二流动路径以输送热交换流体,所述第二流动路径包括第一部分和第二部分,所述第二流动路径的所述第一部分将所述热交换流体运送到或通过所述中间冷却器,所述第二流动路径的所述第二部分至少部分地围绕燃烧器下游的低压涡轮和所述低压涡轮下游的排气区段运送所述热交换流体;汽化器,所述汽化器包括所述至少一个第一导管和所述至少一个第二导管或与所述至少一个第一导管和所述至少一个第二导管连接,所述热交换流体将热能传递给所述汽化器中的所述氢;第一泵,所述第一泵驱动所述氢通过所述至少一个第一导管;第二泵,所述第二泵驱动所述热交换流体通过所述至少一个第二导管;一个或多个传感器,所述一个或多个传感器测量所述至少一个导管中的所述氢的温度、压力或流率中的至少一个;一个或多个计量阀,所述一个或多个计量阀可操作地联接到所述至少一个第一导管或所述至少一个第二导管中的至少一个;第一旁通阀,所述第一旁通阀在所述第二流动路径的所述第二部分和所述汽化器之间与所述至少一个第二导管连接,所述第一旁通阀使所述热交换流体能够绕过所

述汽化器；第二旁通阀，所述第二旁通阀在所述第二流动路径的所述第一部分和所述第二流动路径的所述第二部分之间与所述至少一个第二导管连接，所述第二旁通阀使所述热交换流体能够绕过所述第二流动路径的所述第二部分；以及控制电路，所述控制电路可操作地联接到所述第一泵、所述第二泵、所述一个或多个传感器、所述第一旁通阀、所述第二旁通阀和所述一个或多个计量阀。

[0193] 示例31包括一种燃气涡轮系统，所述燃气涡轮系统包括：储氢罐；中间冷却器，所述中间冷却器设置在风扇和压缩机之间；一个或多个燃烧器喷嘴；至少一个第一导管，所述至少一个第一导管限定第一流动路径以在所述储氢罐和所述一个或多个燃烧器喷嘴之间输送氢；至少一个第二导管，所述至少一个第二导管限定第二流动路径以输送热交换流体，所述第二流动路径包括第一部分和第二部分，所述第二流动路径的所述第一部分将所述热交换流体运送到或通过所述中间冷却器，所述第二流动路径的所述第二部分至少部分地围绕燃烧器下游的低压涡轮和所述低压涡轮下游的排气区段运送所述热交换流体；汽化器，所述汽化器包括所述至少一个第一导管和所述至少一个第二导管或与所述至少一个第一导管和所述至少一个第二导管连接，所述热交换流体将热能传递给所述汽化器中的所述氢；第一泵，所述第一泵驱动所述氢通过所述至少一个第一导管；第二泵，所述第二泵驱动所述热交换流体通过所述至少一个第二导管；一个或多个传感器，所述一个或多个传感器测量所述至少一个导管中的所述氢的温度、压力或流率中的至少一个；一个或多个计量阀，所述一个或多个计量阀可操作地联接到所述至少一个第一导管或所述至少一个第二导管中的至少一个；第一旁通阀，所述第一旁通阀在所述第二流动路径的所述第二部分和所述汽化器之间与所述至少一个第二导管连接，所述第一旁通阀使所述热交换流体能够绕过所述汽化器；第二旁通阀，所述第二旁通阀在所述第二流动路径的所述第一部分和所述第二流动路径的所述第二部分之间与所述至少一个第二导管连接，所述第二旁通阀使所述热交换流体能够绕过所述第二流动路径的所述第二部分；环境控制系统热交换器，所述环境控制系统热交换器在所述汽化器和所述中间冷却器之间与所述第二导管连接；冷却的冷却空气热交换器，所述冷却的冷却空气热交换器在所述环境控制系统热交换器和所述中间冷却器之间与所述第二导管连接；油冷却器热交换器，所述油冷却器热交换器在所述第二流动路径的所述第一部分和所述第二流动路径的所述第二部分之间与所述第二导管连接；第三旁通阀，所述第三旁通阀在所述汽化器和所述环境控制系统热交换器之间可操作地联接到所述至少一个第二导管；第四旁通阀，所述第四旁通阀在所述环境控制系统热交换器和所述冷却的冷却空气热交换器之间可操作地联接到所述至少一个第二导管；第五旁通阀，所述第五旁通阀在所述中间冷却器和所述油冷却器热交换器之间可操作地联接到所述至少一个第二导管；以及控制电路，所述控制电路可操作地联接到所述第一泵、所述第二泵、所述一个或多个传感器、所述第一旁通阀、所述第二旁通阀、所述第三旁通阀、所述第四旁通阀、所述第五旁通阀和所述一个或多个计量阀。

[0194] 以下权利要求通过引用结合到该详细描述中。尽管本文公开了某些示例系统、方法、设备和制品，但是本专利的覆盖范围不限于此。相反，该专利涵盖了完全落入该专利权利要求范围内的所有系统、方法、设备和制品。

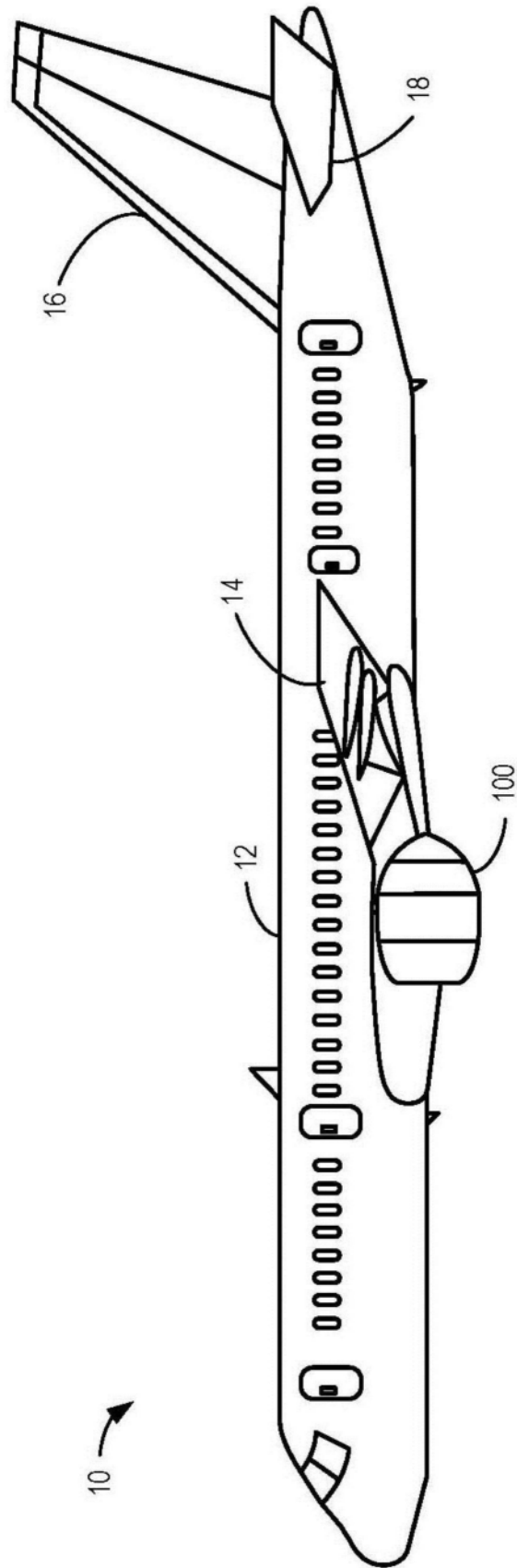


图1

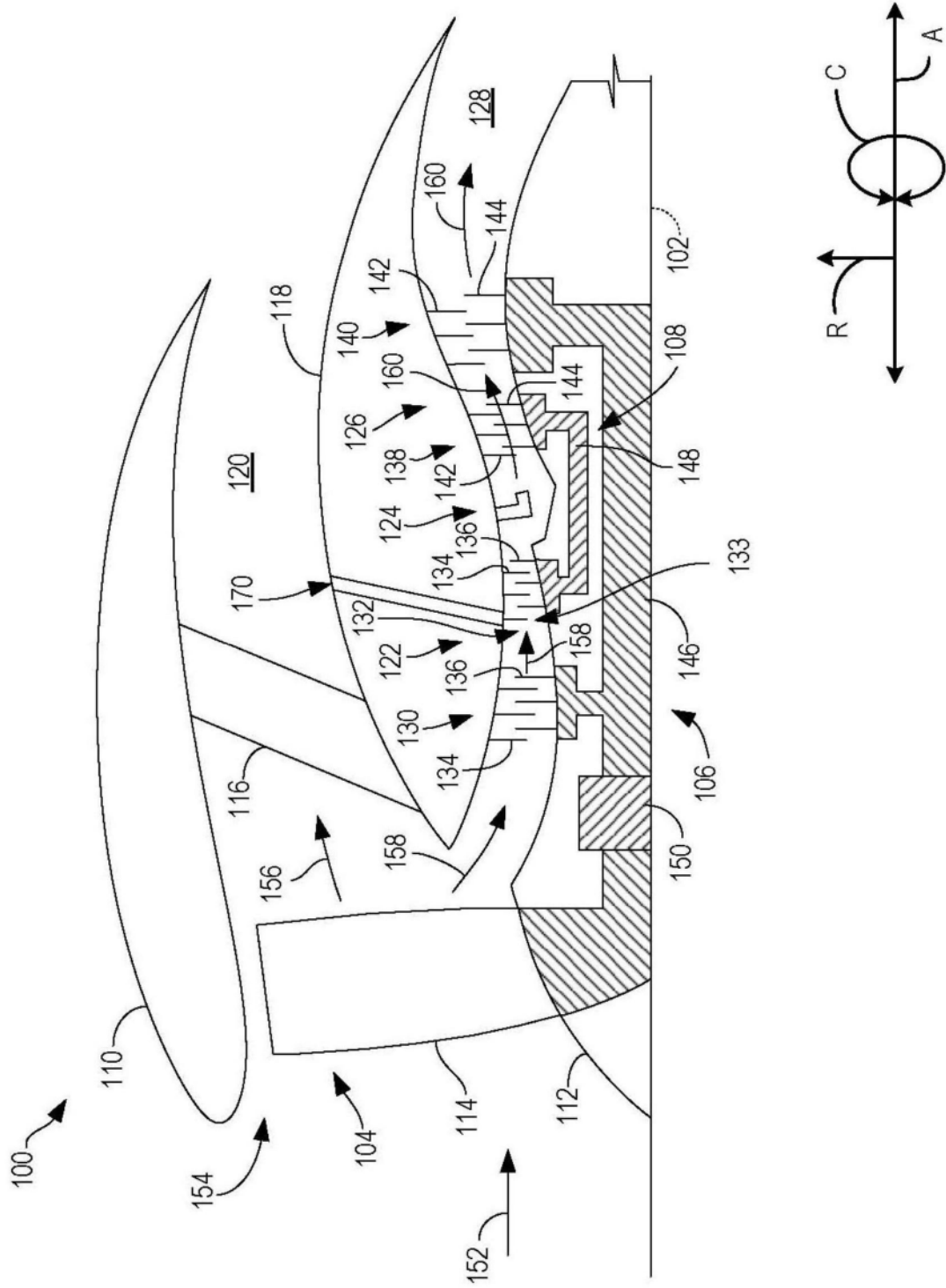


图2

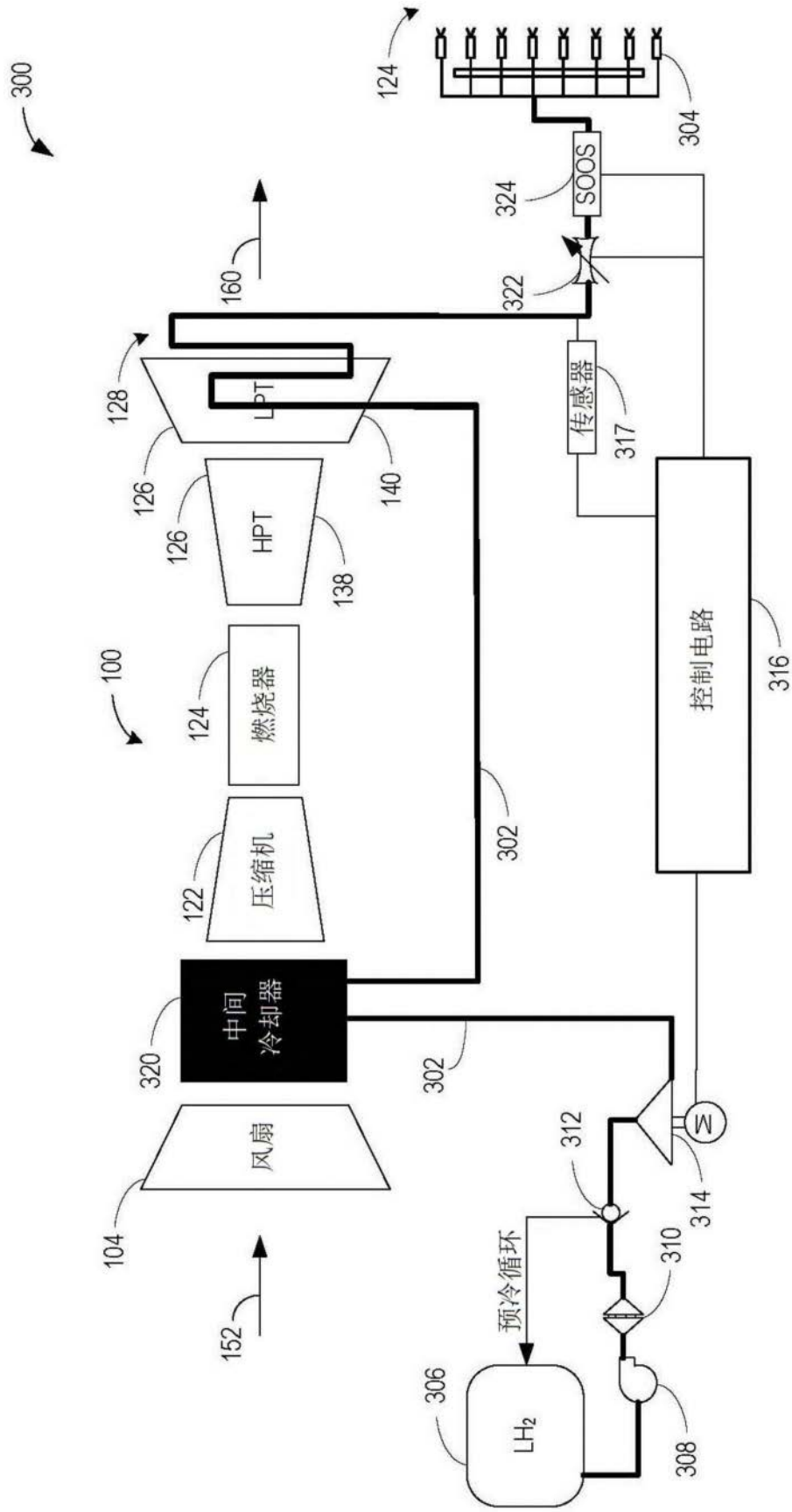


图3

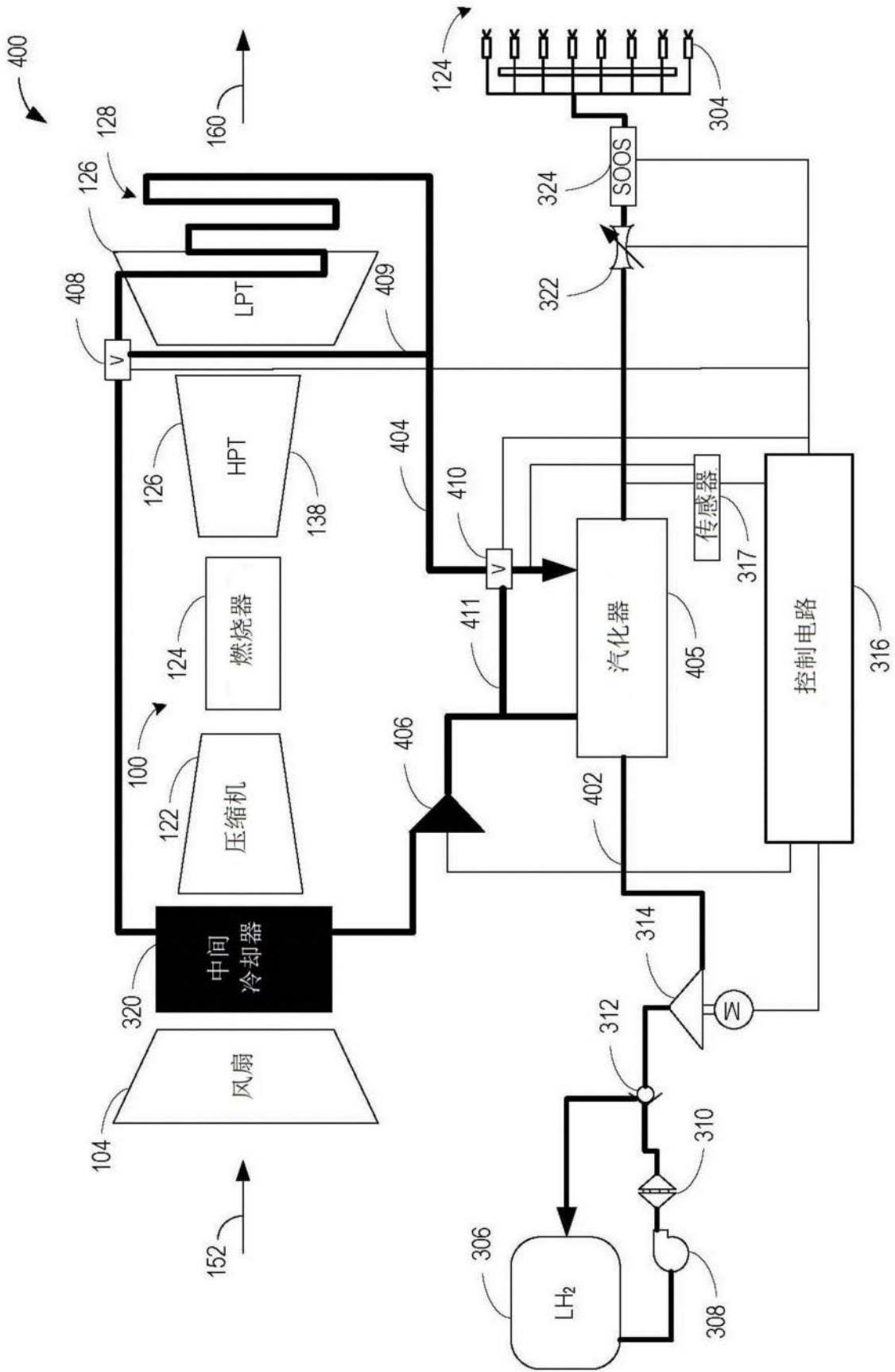


图4



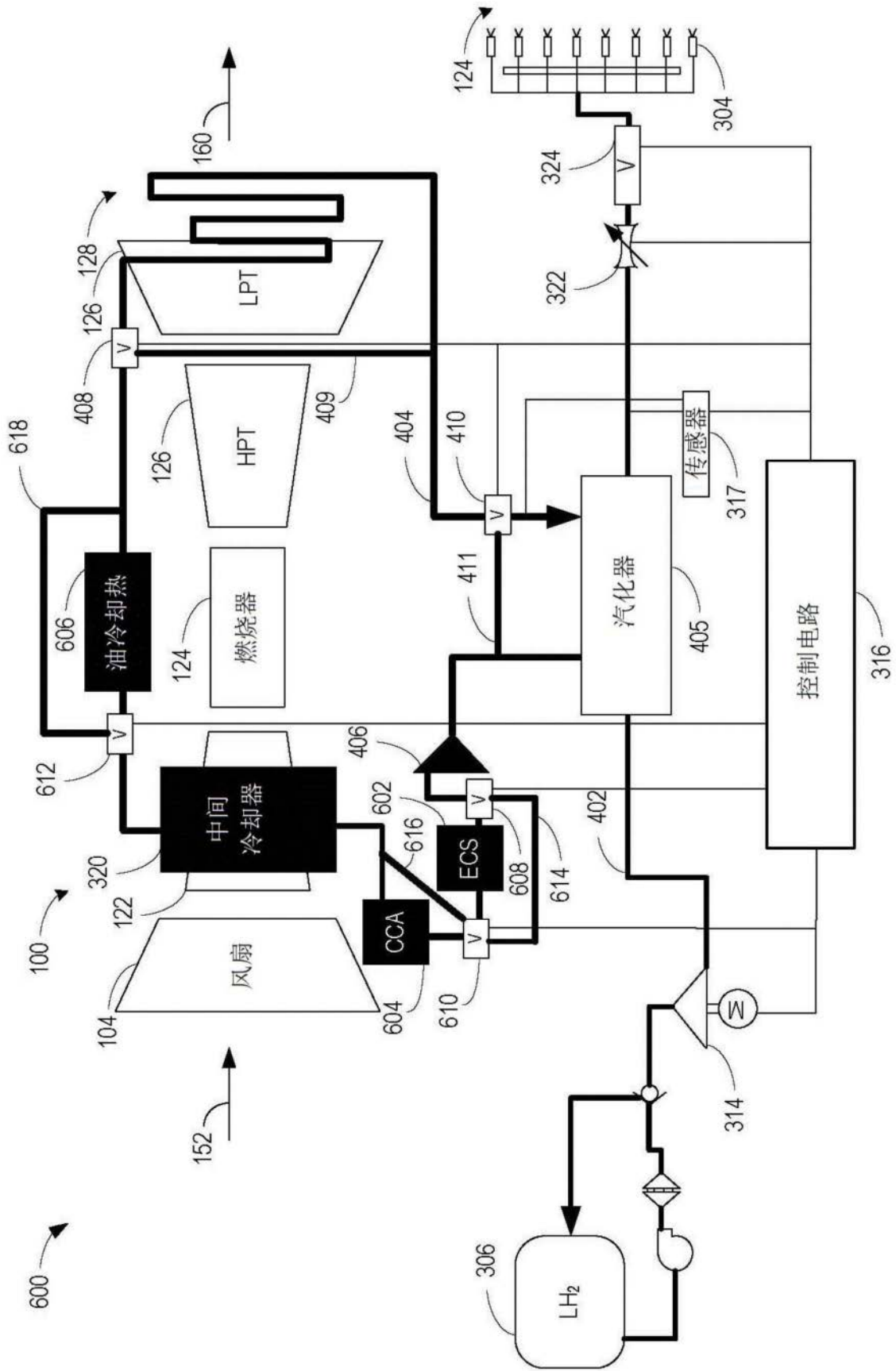


图6

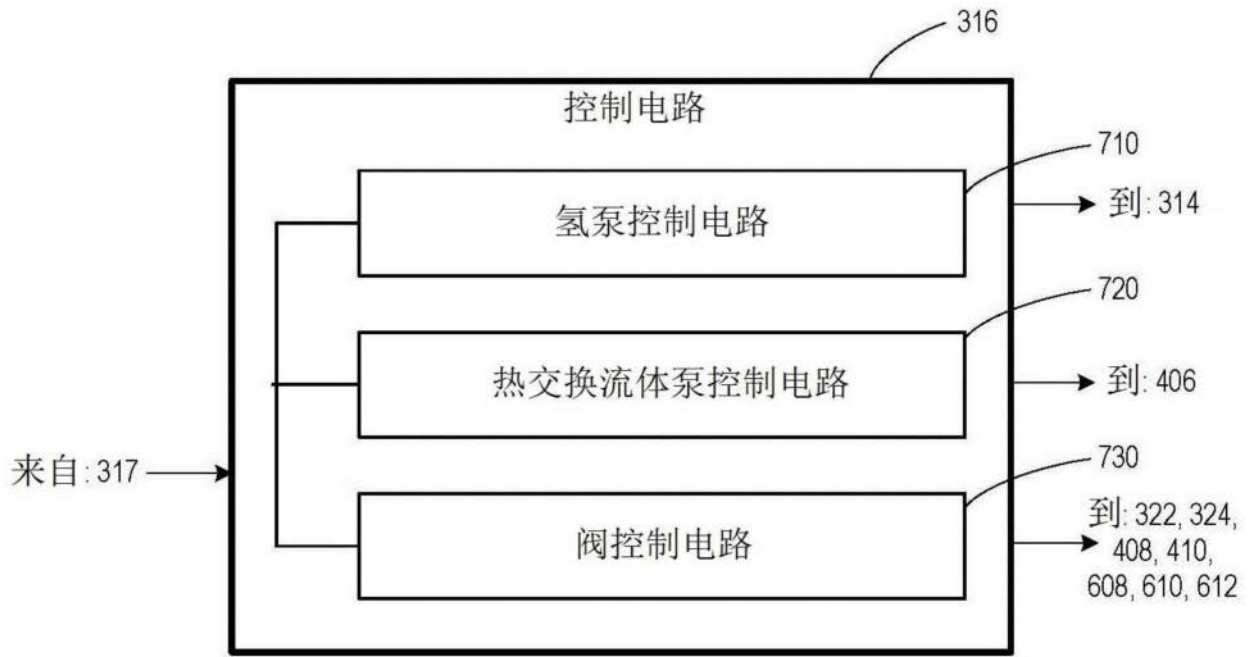


图7

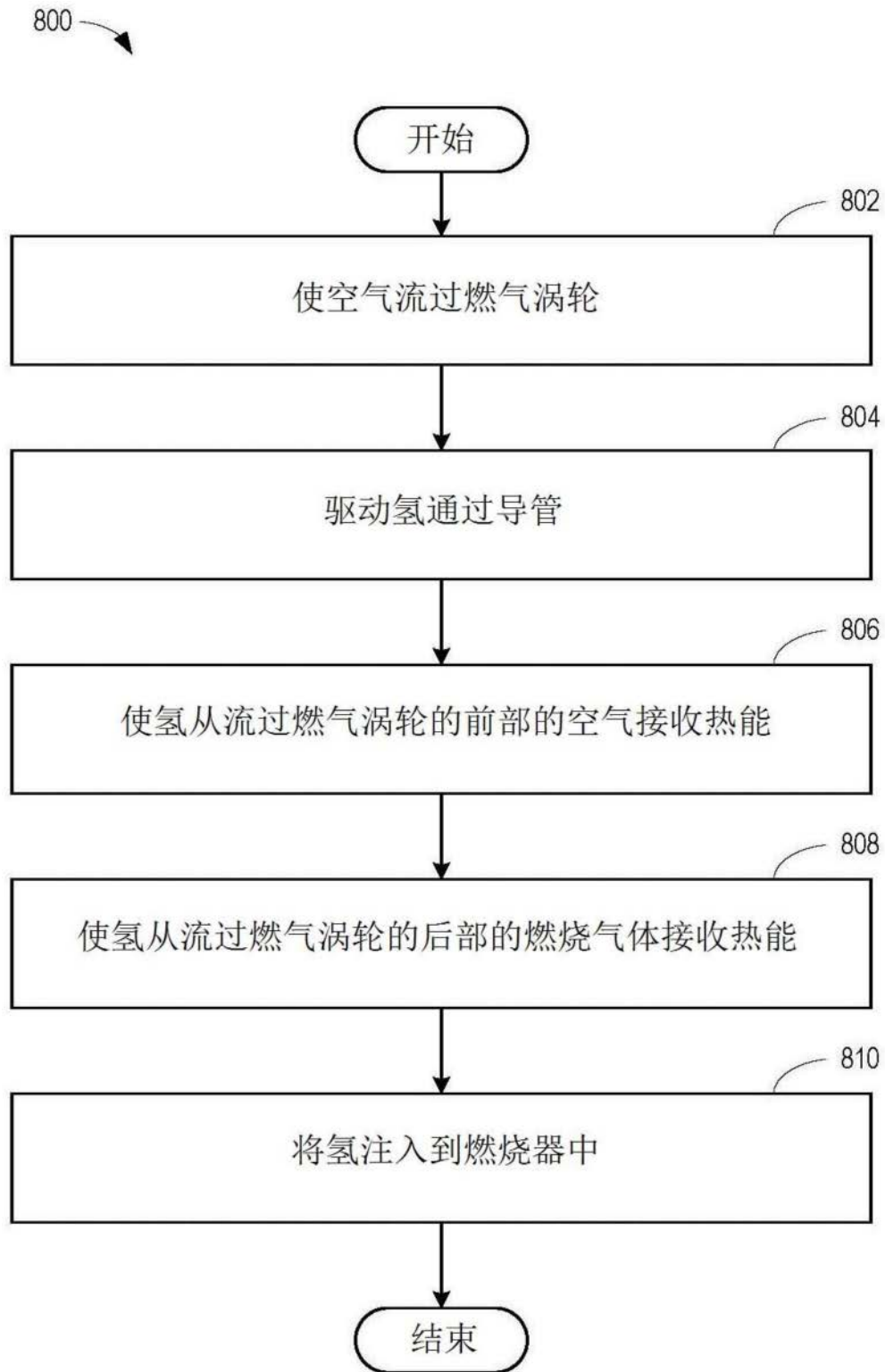


图8

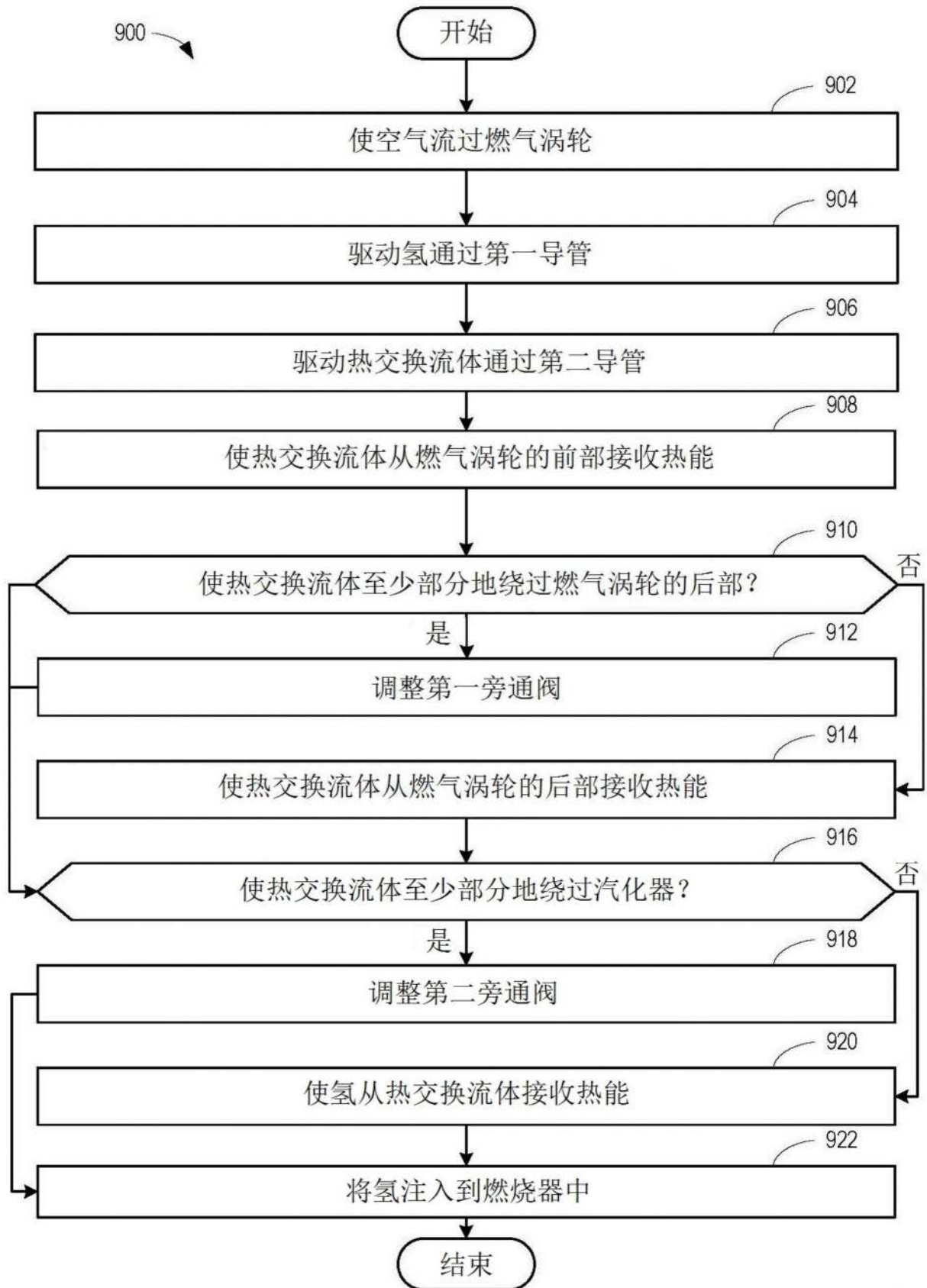


图9

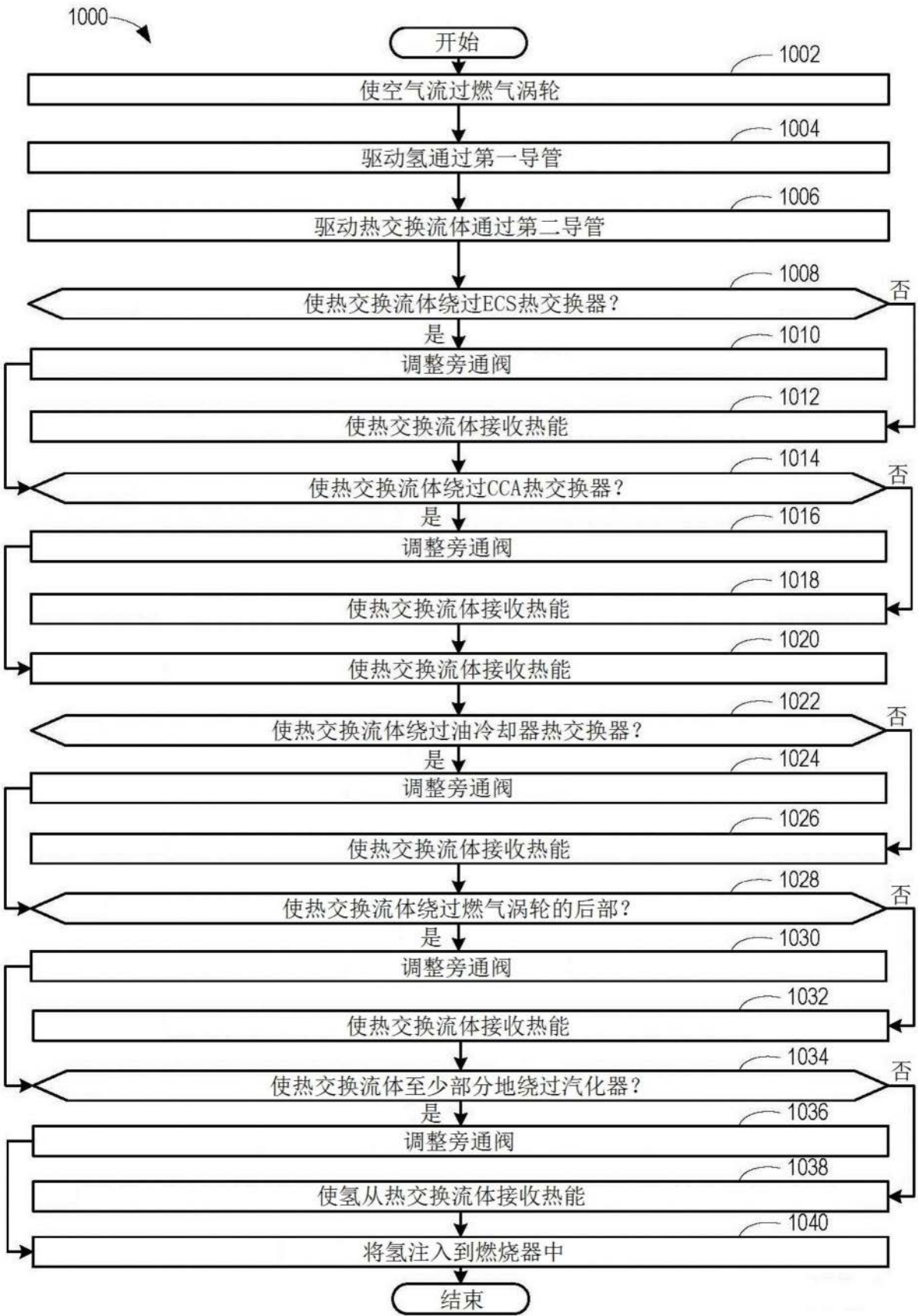


图10

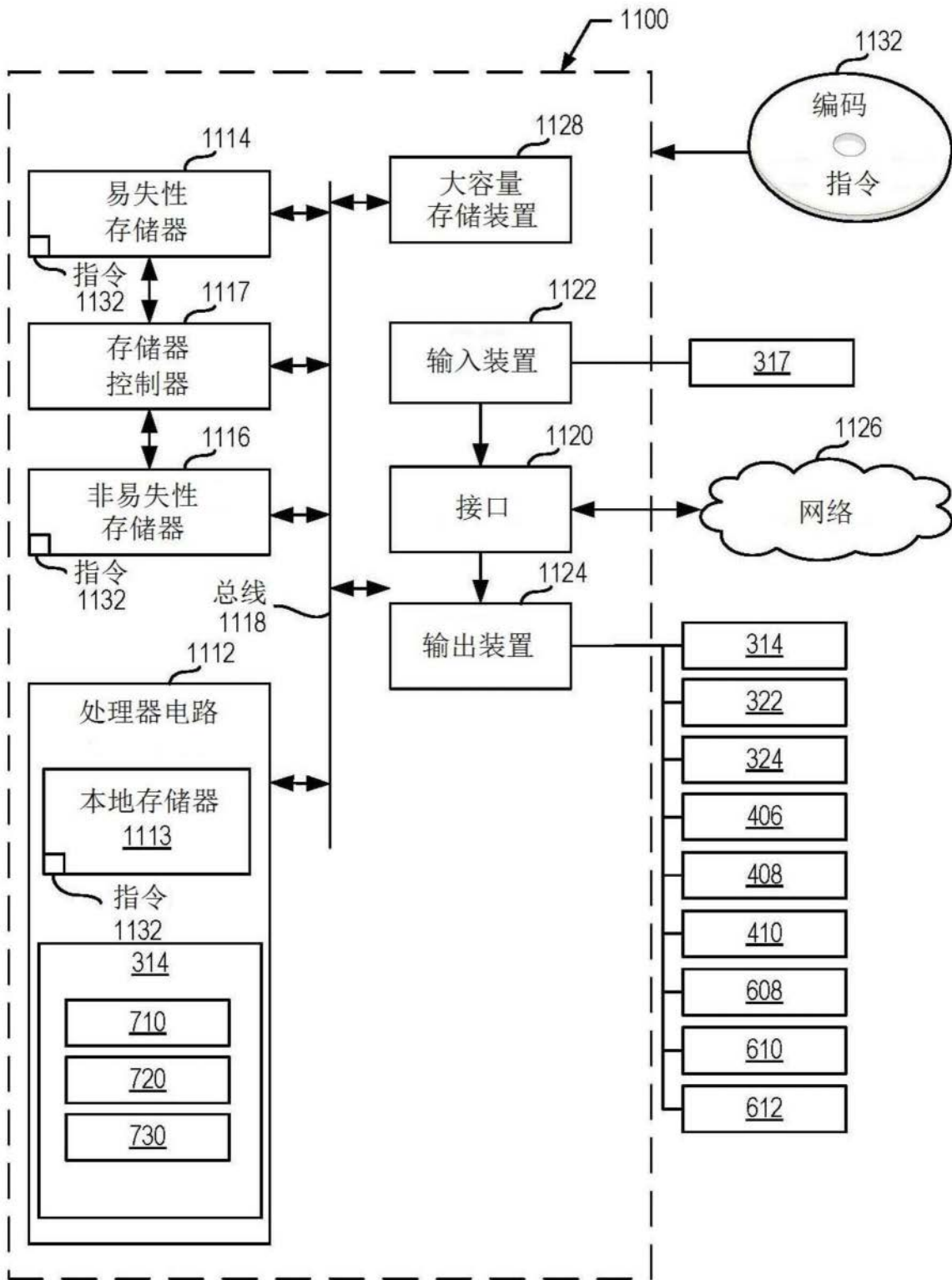


图11