



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 111724917 A

(43) 申请公布日 2020.09.29

(21) 申请号 202010695574.0

G21D 5/06 (2006.01)

(22) 申请日 2020.07.17

(71) 申请人 中国工程物理研究院核物理与化学研究所

地址 621999 四川省绵阳市绵山路64号

(72) 发明人 郭斯茂 唐彬 王梓 王冠博
钱达志 刘耀光 张松宝 冷军
黄欢 米向秒 段世林

(74) 专利代理机构 中国工程物理研究院专利中心 51210

代理人 张保朝 张晓林

(51) Int. Cl.

G21C 1/04 (2006.01)

G21D 1/02 (2006.01)

G21D 3/00 (2006.01)

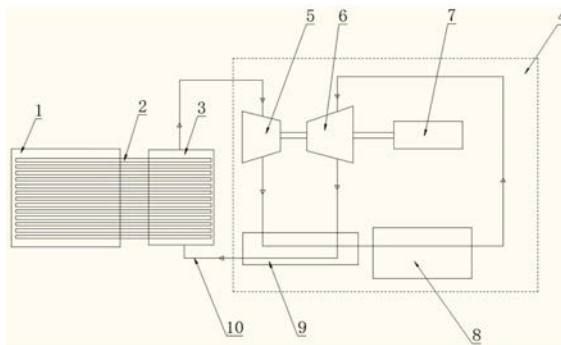
权利要求书2页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

一种热管堆耦合超临界CO₂循环的核动力装置及其使用方法

(57) 摘要

本发明公开了一种热管堆耦合超临界CO₂循环的核动力装置及其使用方法,该装置包括:热管型反应堆堆芯、热管、热管换热器和超临界二氧化碳循环系统;热管一端与热管型反应堆堆芯连接,另一端与热管换热器连接,热管换热器与超临界二氧化碳循环系统连接;该装置的使用方法为:热管将热管型反应堆堆芯产生的热能非能动的载入热管换热器中,在热管换热器中二氧化碳吸收热量,升温,升温后的超临界二氧化碳进入超临界二氧化碳循环系统中,进行能量循环交换。本发明公开的一种热管堆耦合超临界CO₂循环的核动力装置结构紧凑,安全可靠,运行维护相对简单、节能和环保,实现了热能到电能的转换,可为水下无人潜航器提供足够的动力,应用前景广阔。



1. 一种热管堆耦合超临界CO₂循环的核动力装置,其特征在于:所述设备包括:
热管型反应堆堆芯(1);
热管(2),所述热管(2)一端与热管型反应堆堆芯(1)连接;
热管换热器(3),所述热管换热器(3)与热管(2)的另一端连接;
超临界二氧化碳循环系统(4),所述超临界二氧化碳循环系统(4)与热管换热器(3)连接。

2. 根据权利要求1所述的热管堆耦合超临界CO₂循环的核动力装置,其特征在于:所述超临界二氧化碳循环系统(4)包括:

透平(5),透平(5)与热管换热器(3)连接;

压缩机(6),所述压缩机(6)转轴与透平(5)转轴连接,透平(5)转轴带动压缩机(6)的转轴同步转动;

发电机(7),所述发电机(7)转轴与压缩机(6)转轴连接,压缩机(6)转轴带动发电机(7)转轴同步转动;

冷却器(8),所述冷却器(8)出气口与压缩机(6)的进气口连接;

回热器(9),沿气体流动方向,透平(5)的出气口与所述回热器(9)的第一进气口连接;回热器(9)的第一出气口与冷却器(8)的进气口连接;压缩机(6)的出气口与回热器(9)的第二进气口连接;回热器(9)的第二出气口和热管换热器(3)连接。

3. 根据权利要求1所述的热管堆耦合超临界CO₂循环的核动力装置,其特征在于:所述热管型反应堆堆芯(1)为全固态堆芯。

4. 根据权利要求3所述的热管堆耦合超临界CO₂循环的核动力装置,其特征在于:所述热管型反应堆堆芯(1)的燃料为铀钚合金、二氧化铀、氮化铀和碳化铀其中的一种。

5. 根据权利要求1所述的热管堆耦合超临界CO₂循环的核动力装置,其特征在于:所述热管(2)由10~20000根管子组成的管束。

6. 根据权利要求5所述的热管堆耦合超临界CO₂循环的核动力装置,其特征在于:所述热管(2)外径为10mm-100mm。

7. 根据权利要求6所述的热管堆耦合超临界CO₂循环的核动力装置,其特征在于:所述热管(2)管束的排列方式为叉排或顺排。

8. 根据权利要求7所述的热管堆耦合超临界CO₂循环的核动力装置,其特征在于:所述热管(2)的工作介质为锂、钠和钾中的一种或多种。

9. 根据权利要求2所述的热管堆耦合超临界CO₂循环的核动力装置,其特征在于:所述回热器(9)包括低温气体管道和高温气体管道,两管道之间设置换热肋片。

10. 如权利要求1所述的一种热管堆耦合超临界CO₂循环的核动力装置的使用方法,其特征在于,该方法包括以下步骤:

a. 热管型反应堆堆芯(1)工作产生热能;

b. 热管(2)将热管型反应堆堆芯(1)产生的热能非能动的载入热管换热器(3)中;

c. 在热管换热器(3)中,二氧化碳吸收热量并进行加热;

c. 升温后的超临界二氧化碳进入透平(5)做功,透平(5)转轴转动;

d. 透平(5)转轴带动压缩机(6)开始工作,压缩机(6)转轴带动发电机(7)开始发电;

e. 在透平(5)中做功后的超临界二氧化碳经过连接管道(10)进入回热器(9)的高温气

体管道,在回热器(9)中通过与低温气流管道的气体进行热交换,完成第一次冷却;

f. 经热交换冷却后的超临界二氧化碳进入冷却器(8)进行进一步冷却,冷却至系统最低循环温度;

g. 冷却至系统最低循环温度的二氧化碳继续沿连接管道(10)进入压缩机(6)后压缩增压;

h. 压缩增压后的二氧化碳沿连接管道(10)进入回热器(9)的低温气体管道中,吸收高温气体管道气体的热量,进行第一次加热;

i. 在回热器(9)的低温气体管道中加热后的二氧化碳沿着连接管道(10)进入热管换热器(3)中,进行加热,并开始新的循环。

一种热管堆耦合超临界CO₂循环的核动力装置及其使用方法

技术领域

[0001] 本发明属于核动力领域,具体涉及一种热管堆耦合超临界CO₂循环的核动力装置及其使用方法。

背景技术

[0002] 深海蕴藏着人类社会未来发展所需的各种战略资源,是21世纪人类可持续发展的新疆域。大型无人潜航器是深海和两极冰下水文调查、资源勘测及开发的有效工具,可长期在水下自主航行。但是现有的常规能源无法满足大型无人潜航器长时间、大范围自主作业的要求,能源动力不足已经成为制约无人潜航器发展的关键因素。而核动力装置具有能量密度高、寿期长、不依赖空气等特征,是大型无人潜航器动力源的理想选择。

[0003] 受制于水下宝贵的舱内空间资源、复杂水下环境以及无人条件,应用于无人潜航器的核动力装置必须具有固有安全、轻质紧凑、简单可靠、抗摇摆等特点。传统水下核动力装置采用“压水堆+蒸汽朗肯循环”系统,这种装置存在设备结构复杂、循环效率低、振动噪声高、运行维护困难的问题;新型水下核动力装置采用“铅基反应堆+超临界二氧化碳循环”系统,该装置存在剧毒Po-210造成设备维修困难,铅基反应堆材料具有腐蚀性等问题,且铅基反应堆中铅的熔点较高,为了维持反应堆解冻及液态状态都需要在装置中添加相应的功能模块,增加了装置的复杂性;还有一种核动力装置采用“钠冷快堆+蒸汽朗肯循环”的系统,在反应堆启动时需解冻金属,且二次侧钠与水发生反应的风险也较高,因此这些问题的存在也限制了该装置在水下环境中的应用。

[0004] 因此,亟需一种结构简单、安全可靠的且适应水下环境的新型核动力装置为无人潜航器提供足够的动力。

发明内容

[0005] 有鉴于此,本发明提供一种结构简单、安全可靠、体积较小、效率较高的一种热管堆耦合超临界CO₂循环的核动力装置及其使用方法。

[0006] 为达此目的,本发明采用以下技术方案:一种热管堆耦合超临界CO₂循环的核动力装置,其特征在于:所述装置包括:

[0007] 热管型反应堆堆芯;

[0008] 热管,所述热管一端与热管型反应堆堆芯连接;

[0009] 热管换热器,所述热管换热器与热管的另一端连接;

[0010] 超临界二氧化碳循环系统,所述超临界二氧化碳循环系统与热管换热器连接。

[0011] 优选的,所述超临界二氧化碳循环系统包括:

[0012] 透平,透平与热管换热器连接;

[0013] 压缩机,所述压缩机转轴与透平转轴连接,透平转轴带动压缩机的转轴同步转动;

[0014] 发电机,所述发电机转轴与压缩机转轴连接,压缩机转轴带动发电机转轴同步转动;

- [0015] 冷却器,所述冷却器出气口与压缩机的进气口连接;
- [0016] 回热器,沿气体流动方向,透平的出气口与所述回热器的第一进气口连接;回热器的第一出气口与冷却器的进气口连接;压缩机的出气口与回热器的第二进气口连接;回热器的第二出气口和热管换热器连接。
- [0017] 优选的,所述热管型反应堆堆芯为全固态堆芯。
- [0018] 优选的,所述热管型反应堆堆芯的燃料为铀铝合金、二氧化铀、氮化铀和碳化铀其中的一种。
- [0019] 优选的,所述热管由10~20000根管子组成的管束。
- [0020] 优选的,所述热管外径为10mm-100mm。
- [0021] 优选的,所述热管管束的排列方式为叉排或顺排。
- [0022] 优选的,所述热管的工作介质为锂、钠和钾中的一种或多种。
- [0023] 优选的,所述回热器包括低温气体管道和高温气体管道,两管道之间设置换热肋片。
- [0024] 一种热管堆耦合超临界CO₂循环的核动力装置的使用方法,其特征在于,该方法包括以下步骤:
- [0025] a. 热管型反应堆堆芯工作产生热能;
- [0026] b. 热管将热管型反应堆堆芯产生的热能非能动的载入热管换热器中;
- [0027] c. 在热管换热器中,二氧化碳吸收热量并进行加热;
- [0028] c. 升温后的超临界二氧化碳进入透平做功,透平转轴转动;
- [0029] d. 透平转轴带动压缩机开始工作,压缩机转轴带动发电机开始发电;
- [0030] e. 在透平中做功后的超临界二氧化碳经过连接管道进入回热器的高温气体管道,在回热器中通过与低温气流管道的气体进行热交换,完成第一次冷却;
- [0031] f. 经热交换冷却后的超临界二氧化碳进入冷却器进行进一步冷却,冷却至系统最低循环温度;
- [0032] g. 冷却至系统最低循环温度的二氧化碳继续沿连接管道进入压缩机后压缩增压;
- [0033] h. 压缩增压后的二氧化碳沿连接管道进入回热器的低温气体管道中,吸收高温气体管道气体的热量,进行第一次加热;
- [0034] i. 在回热器的低温气体管道中加热后的二氧化碳沿着连接管道进入热管换热器中,进行加热,并开始新的循环。
- [0035] 本发明的有益效果是:本发明提出基于超临界二氧化碳布雷顿循环的热管型反应堆核动力装置的全新概念,其具有结构紧凑,安全可靠,运行维护简单、节能和环保的优势,具体体现在以下方面:
- [0036] 1、该装置热管型反应堆利用热管非能动传热作为堆芯热量导出手段,没有现有核动力装置中的回路系统和转动部件,使得装置大大简化,堆芯为全固态堆芯,可以做到堆芯免维护,提高了装置的可靠性;2、在动力转换系统方面,超临界二氧化碳循环为单相气体循环,避免了复杂气液两相流工况,使装置结构简单,运行可靠;3、该核动力设备尺寸较蒸汽循环大幅缩小,特别适用于空间受限的水下需要核动力装置提供能源的设备;4、热循环系统内高低温气体可进行热交换,提高了整个系统的换热效率,节省能源。

附图说明

[0037] 图1为本发明的热管堆耦合超临界CO₂循环的核动力装置的结构示意图；

[0038] 图中：1.热管型反应堆堆芯 2.热管 3.热管换热器 4.超临界二氧化碳循环系统 5.透平 6. 压缩机 7.发电机 8.冷却器 9.回热器 10.连接管道。

具体实施方式

[0039] 本领域的普通技术人员将会意识到,这里所述的实施例是为了帮助读者理解本发明的原理,应被理解为本发明的保护范围并不局限于这样的特别陈述和实施例。本领域的普通技术人员可以根据本发明公开的这些技术启示做出各种不脱离本发明实质的其它各种具体变形和组合,这些变形和组合仍然在本发明的保护范围内。

[0040] 下面结合附图和具体实施例对本发明进行详细说明。

[0041] 如图1所示,一种热管堆耦合超临界CO₂循环的核动力装置,该装置包括:热管型反应堆堆芯1、热管2、热管换热器3、超临界二氧化碳循环系统4;所述热管2一端与热管型反应堆堆芯1连接,另一端与热管换热器3连接;超临界二氧化碳循环系统4与热管换热器3通过连接管道10连接。

[0042] 热管2将热管型反应堆堆芯1产生的热能非能动的载入热管换热器3中,热管换热器3中吸收热量后加热二氧化碳,加热后的二氧化碳转化为超临界二氧化碳之后进入超临界二氧化碳循环系统4进行热能到电能的转换。

[0043] 优选的,所述超临界二氧化碳循环系统4包括:透平5、压缩机6、发电机7、冷却器8和回热器9;透平5与热管换热器3通过连接管道10连接,透平5转轴、压缩机6转轴与发电机7转轴连接,透平5转轴转动可带动压缩机6和发电机7转轴同步转动;沿着气体流动的方向,透平5的出气口与回热器9的第一进气口连接,回热器9第一出气口与冷却器8进气口连接,冷却器8出气口与压缩机6进气口连接,压缩机6出气口与回热器9第二进气口连接,回热器9第二出气口与热管换热器3,上述连接关系均采用连接管道10来实现,超临界二氧化碳循环系统4内的所有部件与热管换热器3组成了超临界二氧化碳的循环闭环。

[0044] 上述回热器9与透平5的出气口连接的进气口定义为回热器9的第一进气口,与压缩机6出气口连接的进气口定义为回热器9的第二进气口;回热器9与冷却器8进气口连接的出气口定义为回热器9的第一出气口,与热管换热器3连接的出气口定义为回热器9的第二出气口。

[0045] 透平5转轴转动可带动压缩机6和发电机7转轴同步转动,透平将热管换热器3输出的热能转化为机械能,发电机7将机械能转化为电能,为无人潜航器提供能源。

[0046] 回热器9内部设有低温气体管道和高温气体管道,透平5输出的超临界二氧化碳通过连接管道10进入回热器9的高温气体管道,压缩机6增压后的冷却的二氧化碳气体通过连接管道10进入回热器9的低温气体管道,两管道之间设置换热肋片,可以进行热交换,从而提高循环装置的热效率。

[0047] 优选的,所述热管型反应堆堆芯1为全固态堆芯,由于反应堆堆芯为固态可以解决传统的反应堆在海水内摇摆、不稳定的问题。

[0048] 优选的,所述热管型反应堆堆芯1的燃料材料为铀钼合金、二氧化铀、氮化铀和碳化铀其中的一种。

[0049] 优选的,所述热管2由10~20000根管子组成的管束,具体管子数量可根据设备的功率进行调整。

[0050] 优选的,所述热管2外径为10mm-100mm。

[0051] 优选的,所述热管2管束的排列方式为叉排或顺排。

[0052] 优选的,所述热管2的工作介质为锂、钠和钾中的一种或多种。

[0053] 如图1所示的一种热管堆耦合超临界CO₂循环的核动力装置的使用方法,图1中用小三角箭头表示接管道10中二氧化碳的流动方向,该使用方法如下:

[0054] 热管型反应堆堆芯1开始工作产生热能;热管2将热管型反应堆堆芯1产生的热能非能动的载入热管换热器3中;在热管换热器3中,二氧化碳吸收热量进行加热;升温的超临界二氧化碳进入透平5做功,透平5转轴转动;透平5转轴带动压缩机6开始工作,压缩机6转轴带动发电机7开始发电;在透平5中做功后的超临界二氧化碳经过连接管道10 进入回热器9的高温气体管道,在回热器9中通过与低温气流管道的气体进行热交换后进行第一次冷却;经热交换冷却后的超临界二氧化碳进入冷却器8进行进一步冷却,冷却至系统最低循环温度;冷却至系统最低循环温度的二氧化碳继续沿连接管道10进入压缩机6 后压缩增压;增压后的二氧化碳沿连接管道10进入回热器9的低温气体管道中,吸收高温气体管道气体的热量,进行第一次加热;加热后的二氧化碳沿着连接管道10进入热管换热器3中,进行加热,并开始新的循环。

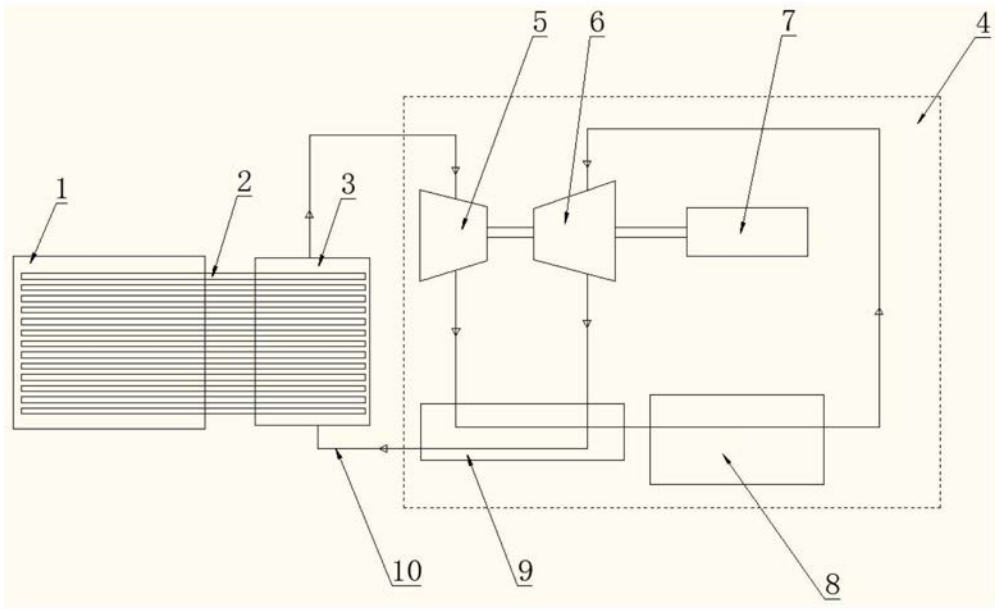


图1