



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117759510 A

(43) 申请公布日 2024. 03. 26

(21) 申请号 202311841181.6

H02K 7/18 (2006.01)

(22) 申请日 2023.12.28

H02K 35/02 (2006.01)

(71) 申请人 西安交通大学

地址 710049 陕西省西安市碑林区咸宁西路28号

(72) 发明人 李伟 段倩妮 武俊梅 陈虹汐
王皓坤

(74) 专利代理机构 西安通大专利代理有限责任
公司 61200

专利代理师 王胜君

(51) Int. Cl.

F03G 7/00 (2006.01)

G21C 1/32 (2006.01)

G21C 15/257 (2006.01)

G21C 15/18 (2006.01)

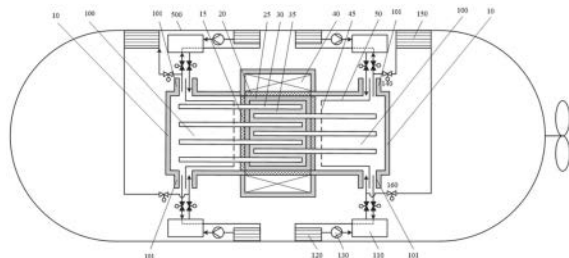
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种基于热声发电的热管堆动力系统

(57) 摘要

本发明公开了一种基于热声发电的热管堆动力系统,布置在海洋小型设备的隔间内部,由热管反应堆、布置在发电舱的热声发电系统和布置在舱壁的余热排出系统等组成;热管反应堆采用卧式布置,由位于热管堆容器内部的堆芯容器、热管换热器、旋转式控制鼓、屏蔽层、隔热层等组成;燃料棒和热管卧式布置在堆芯容器内部,且热管穿过堆芯容器壁面、屏蔽层进入热管换热器;热管换热器分别设置两个进出口分隔接管,并分别与一个热声发电电子系统和余热排出子系统组成的发电热排单元连接。通过旋转式控制鼓多个档位的热管性控制实现不同堆芯热功率输出,并与热声发电热排单元匹配实现不同电力输出,系统简单、运行可靠,适用于无人化、自动化控制。



1. 一种基于热声发电的热管堆动力系统,其特征在于,包括热管反应堆和安装在热管反应堆上的四个热声发电子系统(110);热声发电子系统(110)上连接有能动余热排出系统;

热声发电子系统(110)由若干个热声发电单元串联形成环状回路,热声发电单元由热声发动机(300)与直线发电机(350)串联组成,直线发电机(350)的出口与下个热声发电单元的热声发动机(300)的入口连接。

2. 根据权利要求1所述的基于热声发电的热管堆动力系统,其特征在于,热声发动机(300)包括冷端环境换热器(305)、冷段缓冲管(310)、冷端换热器(315)、回热器(320)、热端换热器(325)、热段缓冲管(330)和热端环境换热器(335);

冷端环境换热器(305)、冷段缓冲管(310)、冷端换热器(315)、回热器(320)、热端换热器(325)、热段缓冲管(330)和热端环境换热器(335)依次连接形成热声发动机(300)。

3. 根据权利要求2所述的基于热声发电的热管堆动力系统,其特征在于,能动余热排出系统包括能动换热器(120)和电动驱动泵(130);热端换热器(325)与能动换热器(120)入口相连,能动换热器(120)出口和电动驱动泵(130)相连,电动驱动泵(130)出口与冷端换热器(315)相连。

4. 根据权利要求1所述的基于热声发电的热管堆动力系统,其特征在于,直线发电机(350)包括气体工作腔(355)和位于气体工作腔(355)两侧的活塞组件(360);

在活塞组件(360)的轴杆上设有动子永磁体(365),在动子永磁体(365)的外壁设有定子线圈(370),在定子线圈(370)上连接有电容及负载,在活塞组件360的轴杆端部连接有弹簧组件(375)。

5. 根据权利要求1所述的基于热声发电的热管堆动力系统,其特征在于,热管反应堆安装在动力设备船体(500)内部,包括安装在热管堆容器(10)内部的堆芯容器(25)和两个热管换热器(100);堆芯容器(25)位于热管堆容器(10)的中心,两个热管换热器(100)分别位于堆芯容器(25)的两侧;在两个热管换热器(100)上均设有两个进出口分隔接管;在堆芯容器(25)的外壁设有旋转式控制鼓(40);在堆芯容器(25)的内部设有热管(30)和燃料棒(35),且热管(30)的另一端穿过堆芯容器(25)位于两个热管换热器(100)中;热声发电子系统(110)通过进出口分隔接管与热管换热器(100)连通。

6. 根据权利要求5所述的基于热声发电的热管堆动力系统,其特征在于,在两个热管换热器(100)上均连接有非能动余热排出系统;

非能动余热排出系统包括非能动换热器(150);非能动换热器(150)的入口与热管换热器(100)上的一个进出口分隔接管的出口通过入口电磁阀(140)连接;非能动换热器(150)的出口与热管换热器(100)上的另一个进出口分隔接管的入口通过出口电磁阀(160)连接。

7. 根据权利要求5所述的基于热声发电的热管堆动力系统,其特征在于,旋转式控制鼓(40)有若干个。

8. 根据权利要求1所述的基于热声发电的热管堆动力系统,其特征在于,热管换热器(100)与堆芯容器(25)之间设有圆形屏蔽层(15)。

9. 根据权利要求1所述的基于热声发电的热管堆动力系统,其特征在于,堆芯容器(25)与旋转式控制鼓(40)之间设有环形隔热层(20)。

10. 根据权利要求1所述的基于热声发电的热管堆动力系统,其特征在于,在热管换

器(100)内部设有筒形隔板(50)和流量分配板(45)。

一种基于热声发电的热管堆动力系统

技术领域

[0001] 本发明属于海洋设备技术领域,涉及一种基于热声发电的热管堆动力系统。

背景技术

[0002] 现有的热声发电系统利用热在压力气体中产生自激振荡这一热声现象,可以实现将热转换为压力波动,也即声波,压力波是交变机械能,也就实现了热机交换。但是热声热电转换技术在较高温区域不能实现较高效率的热电转换,声功能力较低,导致存在对声功的浪费,进而使发电能力低。

发明内容

[0003] 本发明的目的在于解决现有技术中热声发电系统不能实现较高效率的热电转换的问题,提供一种基于热声发电的热管堆动力系统。

[0004] 为达到上述目的,本发明采用以下技术方案予以实现:

[0005] 本发明提出的一种基于热声发电的热管堆动力系统,包括热管反应堆和安装在热管反应堆上的四个热声发电子系统;热声发电子系统上连接有能动余热排出系统;

[0006] 热声发电子系统由若干个热声发电单元串联形成环状回路,热声发电单元由热声发动机与直线发电机串联组成,直线发电机的出口与下个热声发电单元的热声发动机的入口连接。

[0007] 优选地,热声发动机包括冷端环境换热器、冷段缓冲管、冷端换热器、回热器、热端换热器、热段缓冲管和热端环境换热器;

[0008] 冷端环境换热器、冷段缓冲管、冷端换热器、回热器、热端换热器、热段缓冲管和热端环境换热器依次连接形成热声发动机。

[0009] 优选地,能动余热排出系统包括能动换热器和电动驱动泵;热端换热器与能动换热器入口相连,能动换热器出口和电动驱动泵相连,电动驱动泵出口与冷端换热器相连。

[0010] 优选地,直线发电机包括气体工作腔和位于气体工作腔两侧的活塞组件;

[0011] 在活塞组件的轴杆上设有转子永磁体,在转子永磁体的外壁设有定子线圈,在定子线圈上连接有电容及负载,在活塞组件360的轴杆端部连接有弹簧组件。

[0012] 优选地,热管反应堆安装在动力设备船体内部,包括安装在热管堆容器内部的堆芯容器和两个热管换热器;堆芯容器位于热管堆容器的中心,两个热管换热器分别位于堆芯容器的两侧;在两个热管换热器上均设有两个进出口分隔接管;在堆芯容器的外壁设有旋转式控制鼓;在堆芯容器的内部设有热管和燃料棒,且热管的另一端穿过堆芯容器位于两个热管换热器中;热声发电子系统通过进出口分隔接管与热管换热器连通。

[0013] 优选地,在两个热管换热器上均连接有非能动余热排出系统;

[0014] 非能动余热排出系统包括非能动换热器;非能动换热器的入口与热管换热器上的一个进出口分隔接管的出口通过入口电磁阀连接;非能动换热器的出口与热管换热器上的另一个进出口分隔接管的入口通过出口电磁阀连接。

- [0015] 优选地,旋转式控制鼓有若干个。
- [0016] 优选地,热管换热器与堆芯容器之间设有圆形屏蔽层。
- [0017] 优选地,堆芯容器与旋转式控制鼓之间设有环形隔热层。
- [0018] 优选地,在热管换热器内部设有筒形隔板和流量分配板。
- [0019] 与现有技术相比,本发明具有以下有益效果:
- [0020] 本发明提出的一种基于热声发电的热管堆动力系统,每个热声发电子系统由热声发动机与对置式直线发电机串联组成的多个单元串联形成环状闭式回路,每个热声发动机产生和放大声功并传递到直线发电机,一部分声功转化成电功,剩余的声功继续传递到下一个热声发动机产生声功和放大声功,继续传递到直线发电机,形成发电回路。热声发电回路提高声功能力,避免声功的浪费,采用对置式直线发电机提高发电能力。

附图说明

[0021] 为了更清楚的说明本发明实施例的技术方案,下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍,应当理解,以下附图仅示出了本发明的某些实施例,因此不应被看作是对范围的限定,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他相关的附图。

[0022] 图1为本发明的基于热声发电的热管堆动力系统结构图。

[0023] 图2为本发明的热声发电子系统结构图。

[0024] 其中:10-热管堆容器;15-屏蔽层;20-隔热层;25-堆芯容器;30-热管;35-燃料棒;40-旋转式控制鼓;45-流量分配板;50-筒形隔板;100-热管换热器;101-进出口分隔接管;140-入口电磁阀;160-出口电磁阀;110-热声发电子系统;120-能动余排换热器;130-电动驱动泵;150-非能动余排换热器;300-热声发动机;305-冷端环境换热器;310-冷段缓冲管;315-冷端换热器;320-回热器;325-热端换热器;330-热段缓冲管;335-热端环境换热器;350-直线发电机;355-气体工作腔;360-活塞组件;365-转子永磁体;370-定子线圈;375-弹簧组件;500-动力设备船体。

具体实施方式

[0025] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。通常在此处附图中描述和示出的本发明实施例的组件可以以各种不同的配置来布置和设计。

[0026] 因此,以下对在附图中提供的本发明的实施例的详细描述并非旨在限制要求保护的本发明的范围,而是仅仅表示本发明的选定实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0027] 应注意到:相似的标号和字母在下面的附图中表示类似项,因此,一旦某一项在一个附图中被定义,则在随后的附图中不需要对其进行进一步定义和解释。

[0028] 在本发明实施例的描述中,需要说明的是,若出现术语“上”、“下”、“水平”、“内”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系,或者是该发明产品使用时惯常

摆放的方位或位置关系,仅是为了便于描述本发明和简化描述,而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作,因此不能理解为对本发明的限制。此外,术语“第一”、“第二”等仅用于区分描述,而不能理解为指示或暗示相对重要性。

[0029] 此外,若出现术语“水平”,并不表示要求部件绝对水平,而是可以稍微倾斜。如“水平”仅仅是指其方向相对“竖直”而言更加水平,并不是表示该结构一定要完全水平,而是可以稍微倾斜。

[0030] 在本发明实施例的描述中,还需要说明的是,除非另有明确的规定和限定,若出现术语“设置”、“安装”、“相连”、“连接”应做广义理解,例如,可以是固定连接,也可以是可拆卸连接,或一体地连接;可以是机械连接,也可以是电连接;可以是直接相连,也可以通过中间媒介间接相连,可以是两个元件内部的连通。对于本领域的普通技术人员而言,可以根据具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。

[0031] 下面结合附图对本发明做进一步详细描述:

[0032] 本发明提出的一种基于热声发电的热管堆动力系统,如图1至图2所示,包括热管反应堆和安装在热管反应堆上的四个热声发电子系统110;热声发电子系统110的上连接有能动余热排出系统;热声发电子系统110由若干个热声发电单元串联形成环状回路,3到6个热声发电单元最佳,热声发电单元由热声发动机300与直线发电机350串联组成,直线发电机350的出口通过谐振管与下个热声发电单元的热声发动机300的入口连接。

[0033] 其中,热声发动机300包括冷端环境换热器305、冷段缓冲管310、冷端换热器315、回热器320、热端换热器325、热段缓冲管330和热端环境换热器335;冷端环境换热器305、冷段缓冲管310、冷端换热器315、回热器320、热端换热器325、热段缓冲管330和热端环境换热器335依次连接形成热声发动机300。

[0034] 能动余热排出系统包括能动换热器120和电动驱动泵130;热端换热器325与能动换热器120入口相连,能动换热器120出口和电动驱动泵130相连,电动驱动泵130出口与冷端换热器315相连。

[0035] 直线发电机350包括气体工作腔355和位于气体工作腔355两侧的活塞组件360;在活塞组件360的轴杆上设有转子永磁体365,在转子永磁体365的外壁设有定子线圈370,在定子线圈370上连接有电容及负载,在活塞组件360的轴杆端部连接有弹簧组件375。

[0036] 热管反应堆卧式安装在动力设备船体500内部,包括安装在热管堆容器10内部的堆芯容器25和两个热管换热器100;堆芯容器25位于热管堆容器10的中心,两个热管换热器100分别位于堆芯容器25的两侧;在两个热管换热器100上均设有两个进出口分隔接管101。在堆芯容器25的外壁设有旋转式控制鼓40,旋转式控制鼓40有若干个,最优是8个或12个旋转式控制鼓40卧式布置,通过停堆运行、20%功率运行、50%功率运行、100%功率运行等多个档位的热管性控制实现不同堆芯热功率输出。在堆芯容器25的内部设有热管30和燃料棒35,堆芯的燃料棒35和热管30卧式布置在堆芯容器25内部,且热管30的另一端穿过堆芯容器25位于两个热管换热器100中。热管换热器100与堆芯容器25之间设有圆形屏蔽层15,阻止高温的堆芯区域向控制鼓40传热。堆芯容器25与旋转式控制鼓40之间设有环形隔热层20,阻止热管换热器100的热量传出。在热管换热器100内部设有筒形隔板50和流量分配板45。热声发电子系统110通过进出口分隔接管101与热管换热器100连通,进出口分隔接管101的出口与热声发电子系统110的入口,及进出口分隔接管101的入口与热声发电子系统

110的出口之间分别通过电磁阀连接。

[0037] 在两个热管换热器100上均连接有非能动余热排出系统;非能动余热排出系统包括非能动换热器150;非能动换热器150的入口与热管换热器100上的一个进出口分隔接管101的出口通过入口电磁阀140连接;非能动换热器150的出口与热管换热器100上的另一个进出口分隔接管101的入口通过出口电磁阀160连接。

[0038] 热管换热器100的出口热源流体通过电磁阀流过热声发动机300的热端换热器325,以使热端换热器325成为高温端;热端换热器325出口流体在经过能动余排换热器120冷却后,由驱动泵130驱动冷源流体流过热声发动机300的冷端换热器315,以使冷端换热器315成为低温端,因此在热声发动机的回热器320两端形成温度梯度,惰性气体(比如He)自激振荡产生热声效应,将热能转化成声功;热声发动机300产生的声功沿着温度梯度正方向先传递到热缓冲管330、热端环境换热器335,然后通过连接管传递到直线发电机350,将一部分声功转化成电功,剩余的声功继续依次传递到下一组的热声发动机的冷端室温换热器、冷端缓冲管、冷端换热器,并继续通过回热器产生声功和放大声功。多个热声发动机、直线发电机组成的闭式环路里,通过回热器产生声功和放大声功,通过直线发电机把部分声功转化为电功。振荡的惰性气体在直线发电机350的气体工作腔355推动活塞组件360运动压缩弹簧组件375,动子永磁体365往复运动,使得定子线圈370来回切割磁感线产生电压和电流,通过负载输出。

[0039] 热管换热器、热声发电子系统与能动余热排出系统连接组成一个发电热排单元。热管换热器100依次通过进出口分隔接管101的出口流道、电磁阀与热声发电子系统110的热声发动机300的热端换热器325连通,然后依次连接能动余热排出系统的能动余排换热器120、电动驱动泵130,然后依次连接热声发电子系统110的热声发动机300的冷端换热器315、冷端环境换热器305、热端环境换热器335,最后依次通过电磁阀、进出口分隔接管101的进口流道与热管换热器连通。

[0040] 发电热排单元工作流程如下:

[0041] 在热声发电子系统110工作时,热管30将堆芯热量带出传递给热管热交换器100的低温气体,热管换热器100内层区域的气体吸热变成高温气体,温度1100K左右,高温气体成为热声发电机的热源,依次通过进出口分隔接管的出口流道、电磁阀流过热声发动机300的热端换热器325使其成为高温端,高温余热气体流向能动余热排出系统的能动余排换热器120换热降温形成冷源气体,温度300K左右。冷源气体流通过驱动泵130的驱动,流过热声发动机300的冷端换热器315,在热声发动机的回热器320两端形成温度梯度,惰性气体(比如He)自激振荡产生热声效应,将热能转化成声功,同时气体经过冷端换热器315带走部分热量,冷端环境换热器305将带出的热量再次冷却,然后流过热声发动机300的热端环境换热器335形成低温热源气体(温度500K左右),最后依次通过电磁阀、进出口分隔接管的入口流道最终进入热管热交换器100外层区域并形成循环。

[0042] 本发明一种基于热声发电的热管堆动力系统,布置在海洋小型设备的隔间内部,由布置在热管堆隔间的热管反应堆、布置在发电舱的热声发电系统和布置在舱壁的余热排出系统等组成;热管反应堆采用卧式布置,由位于热管堆容器内部的堆芯容器、热管换热器、旋转式控制鼓、屏蔽层、隔热层等组成;燃料棒和热管卧式布置在堆芯容器内部,且热管分别从堆芯左、右两侧穿过堆芯容器壁面、屏蔽层进入左、右热管换热器;左、右热管换热器

分别设置两个进出口分隔接管,并分别与一个热声发电电子系统和余热排出系统组成的发电热排单元连接。本专利通过旋转式控制鼓多个档位的热管性控制实现不同堆芯热功率输出,并与热声发电热排单元匹配实现不同电力输出,系统简单、运行可靠,适用于无人化、自动化控制。具有下特点:1)堆芯采用卧式布置,热管从堆芯左右两侧伸出进入左、右热管换热器,每个热管换热器有两个进出口分隔接管,且分别与一个热声发电电子系统和余热排出系统组成的发电热排单元连接,因此,形成四个热声发电单元。2)每个热声发电电子系统由热声发动机与对置式直线发电机串联组成的多个(3到6个最佳)单元串联形成环状闭式回路,每个热声发动机产生和放大声功并传递到直线发电机,一部分声功转化成电功,剩余的声功继续传递到下一个热声发动机产生声功和放大声功,继续传递到直线发电机,形成发电回路。热声发电回路提高声功能力,避免声功的浪费,采用对置式直线发电机提高发电能力。3)环绕在堆芯容器环形壁面四周的旋转式控制鼓,通过停堆运行、20%功率运行、50%功率运行、100%功率运行等多个档位的热管性控制实现不同堆芯热功率输出,并与热声发电电子系统与余热排出系统组成的发电热排单元匹配实现对应的电力输出。4)在热管反应堆正常运行时,通过能动余热排出系统排出热声发电系统的剩余热量;在热管反应堆停堆后,通过非能动余热排出系统排出堆芯余热,保证堆芯安全。

[0043] 以上仅为本发明的优选实施例而已,并不用于限制本发明,对于本领域的技术人员来说,本发明可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

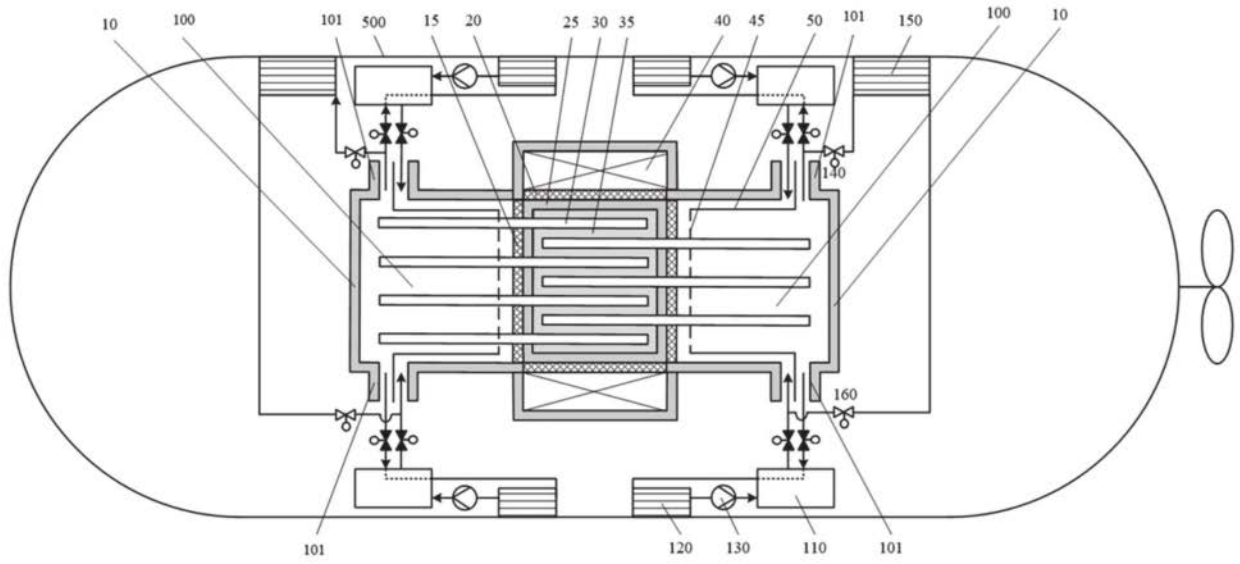


图1

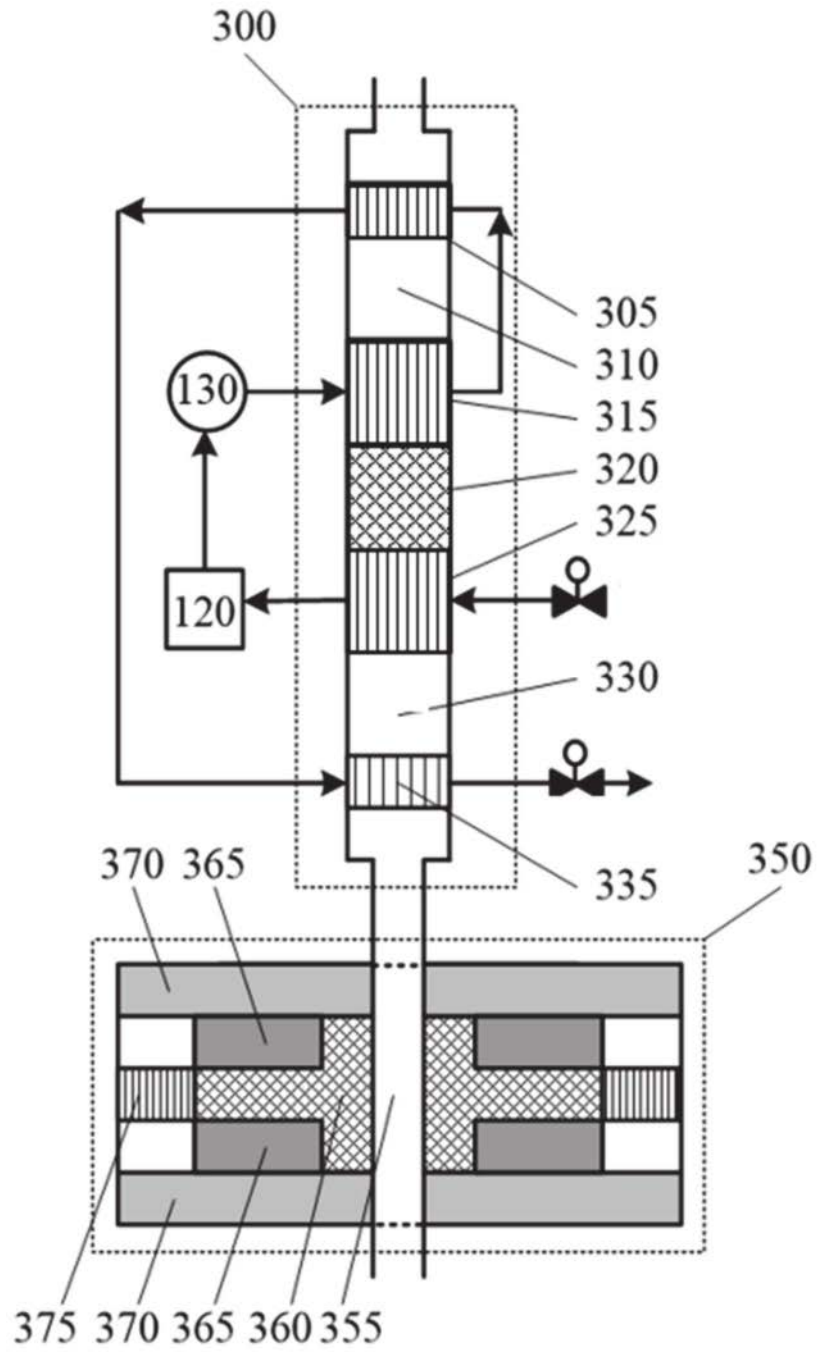


图2