



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104315748 A

(43) 申请公布日 2015. 01. 28

(21) 申请号 201410526732. 4

(22) 申请日 2014. 10. 09

(71) 申请人 浙江大学

地址 310027 浙江省杭州市西湖区浙大路  
38 号

(72) 发明人 金滔 杨睿 黄迦乐 汤珂

(74) 专利代理机构 杭州求是专利事务所有限公  
司 33200

代理人 张法高

(51) Int. Cl.

F25B 27/02 (2006. 01)

F25B 30/06 (2006. 01)

F03G 7/00 (2006. 01)

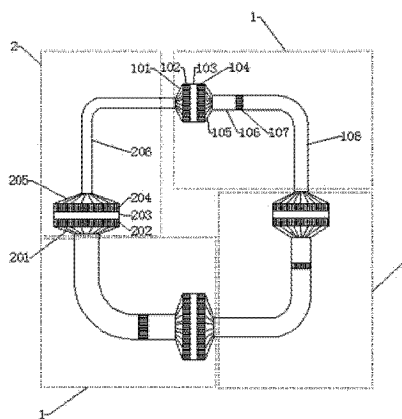
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

热能驱动的具有导流器的环路行波热声热泵

(57) 摘要

本发明公开了一种热能驱动的具有导流器的环路行波热声热泵。它是由 1 个或 1 个以上的热声发动机单元和 1 个或 1 个以上的热声热泵单元首尾串联成环路；所述的热声发动机单元包括顺次相连的发动机第一导流器、发动机冷端换热器、发动机回热器、发动机加热器、发动机第二导流器、热缓冲管、次级冷端换热器、发动机谐振管；所述的热声热泵单元包括顺次相连的热泵第一导流器、热泵高温端换热器、热泵回热器、热泵冷端换热器、热泵第二导流器、热泵谐振管。本发明无运动部件，结构简单，利用低品位热源直接驱动获得泵热效果。此外，本发明既可以对温度较低的热源进行泵热，也可以对温度较高的热源实现泵热，提高热源品位进而再加以利用。



1. 一种热能驱动的具有导流器的环路行波热声热泵,其特征在于:由1个或1个以上的热声发动机单元(1)和1个或1个以上的热声热泵单元(2)首尾串联成环路;

所述的热声发动机单元(1)包括顺次相连的发动机第一导流器(101)、发动机冷端换热器(102)、发动机回热器(103)、发动机加热器(104)、发动机第二导流器(105)、热缓冲管(106)、次级冷端换热器(107)、发动机谐振管(108);所述的热声热泵单元(2)包括顺次相连的热泵第一导流器(201)、热泵高温端换热器(202)、热泵回热器(203)、热泵冷端换热器(204)、热泵第二导流器(205)、热泵谐振管(206)。

2. 如权利要求1所述的热能驱动的具有导流器的环路行波热声热泵,其特征在于:所述的发动机冷端换热器(102)、发动机回热器(103)、发动机加热器(104)的横截面积大于热缓冲管(106)、次级冷端换热器(107)、发动机谐振管(108)的横截面积;所述的热泵高温端换热器(202)、热泵回热器(203)、热泵冷端换热器(204)的横截面积大于热泵谐振管(206)的横截面积。

3. 如权利要求1所述的热能驱动的具有导流器的环路行波热声热泵,其特征在于:所述的发动机第一导流器(101)、发动机第二导流器(105)、热泵第一导流器(201)、热泵第二导流器(205)为具有多孔流道的锥形结构,孔的形式是圆孔或者方孔,导流器的材料是铜、不锈钢或者其他硬质高熔点固体。

4. 如权利要求1所述的热能驱动的具有导流器的环路行波热声热泵,其特征在于:所述发动机第一导流器(101)、发动机第二导流器(105)、热泵第一导流器(201)、热泵第二导流器(205)的两侧分别设有金属丝网。

5. 如权利要求1所述的热能驱动的具有导流器的环路行波热声热泵,其特征在于:所述热声发动机单元(1)和热声热泵单元(2)的径向尺寸与当地声功的大小相匹配,即声功越大的管段,径向尺寸越大。

## 热能驱动的具有导流器的环路行波热声热泵

### 技术领域

[0001] 本发明涉及热声热机,尤其涉及一种热能驱动的具有导流器的环路行波热声热泵。

### 背景技术

[0002] 近年来,热声热机作为完全无运动部件的新型热力系统,因其交变流动的工作特性以及潜在的稳定性、可靠性、长寿命、采用对环境无公害工质、可采用热能驱动等优点而倍受学术界和工业界的关注,并已取得了许多突破性的进展。尤其是美国洛斯-阿拉莫斯国家实验室的 Backhaus 和 Swift 等人提出的热声斯特林发动机,使热声热机的性能有了显著的提高,其热能向机械能转换的效率已经能够与传统热机(如内燃机等)的效率相媲美。

[0003] 低品位热能(余热、太阳能等)的利用是现阶段能源科技领域的研究热点之一。然而,目前的热声发动机系统多采用温度较高的热源来驱动,这使得其在与传统热机的竞争中无法发挥其自身优势,进而极大地限制了热声技术的实用化空间。因此,如何降低热声系统的起振及运行温度是热声领域的重要技术难题,低温热源驱动的热声系统是热声热机领域近期的重要发展方向之一。与此同时,在现有的行波热声系统中,当热声发动机高温端的加热温度降低后,系统所输出的有效功(最终被负载有效利用的功)与环路中总声功的比值会随之降低,从而极大地影响热声系统的热效率。解决该问题的方法之一是在环路中依次布置多个回热器单元,对声波进行逐级放大。然而,当这些串级回热器单元的数量大于 2 个时,现有传统的热声系统很难在回热器单元处实现合适的声阻抗,这会导致热声转换效率低下。在此情况下,要想输出足够大的声功,仍需通过提高热源温度来进行弥补,因而也就无法通过增加回热器单元数的方法很好地达到降低热源温度的目的。

[0004] 本发明的目的正是针对现有热声技术存在的不足,在环路中布置多个回热器单元,并使这些回热器单元处于合适的声阻抗条件,提高热声转换效率,从而降低对驱动热源温度的要求。具体来讲,就是提出了一种包含多个回热器单元的热能驱动的具有导流器的环路行波热声热泵,能在较小的驱动温差下实现热声起振并稳定运行。

### 发明内容

[0005] 本发明提供一种热能驱动的具有导流器的环路行波热声热泵,在较小的驱动温差下实现热声起振并稳定运行,获得泵热效果。

[0006] 所述的一种热能驱动的具有导流器的环路行波热声热泵是由 1 个或 1 个以上的热声发动机单元和 1 个或 1 个以上的热声热泵单元首尾串联成环路。

[0007] 所述的热声发动机单元包括顺次相连的发动机第一导流器、发动机冷端换热器、发动机回热器、发动机加热器、发动机第二导流器、热缓冲管、次级冷端换热器、发动机谐振管;所述的热声热泵单元包括顺次相连的热泵第一导流器、热泵高温端换热器、热泵回热器、热泵冷端换热器、热泵第二导流器、热泵谐振管。

[0008] 所述的发动机冷端换热器、发动机回热器、发动机加热器的横截面积大于热缓冲

管、次级冷端换热器、发动机谐振管的横截面积；所述的热泵高温端换热器、热泵回热器、热泵冷端换热器的横截面积大于热泵谐振管的横截面积。

[0009] 所述的发动机第一导流器、发动机第二导流器、热泵第一导流器、热泵第二导流器为具有多孔流道的锥形结构，孔隙率是  $0.4 \sim 0.9$ ，孔的形式是圆孔或者方孔，导流器的材料是铜、不锈钢或者其他硬质高熔点固体。

[0010] 所述发动机第一导流器、发动机第二导流器、热泵第一导流器、热泵第二导流器的两侧分别设有金属丝网。

[0011] 所述热声发动机单元和热声热泵单元的径向尺寸与当地声功的大小相匹配，即声功越大的管段，径向尺寸越大。

[0012] 本发明中，热声发动机单元中产生的声功将直接驱动同一环路上的热声热泵单元，获得泵热效果。相比现有的热声热泵系统，本发明能利用低品位热源直接驱动获得泵热效果，且无运动部件，结构简单，更有利于系统的长期稳定运行。

[0013] 传统机械压缩式热泵受工质热物性的局限，适用的温度范围比较有限；吸收式热泵的应用范围也受到工质热物性以及吸收式系统固有缺陷（吸收剂的腐蚀性、易结晶等特点）的限制。所述热能驱动的具有导流器的环路行波热声热泵的泵热温度不受这些条件的限制，因此泵热温度具有更大的自由度，既可以对温度较低的热源进行泵热，以达到制冷或制热用途，也可以对温度较高的热源实现泵热，提高热源品位进而再加以利用。

## 附图说明

[0014] 图 1 是热能驱动的具有导流器的环路行波热声热泵结构示意图；

图 2 是能驱动的具有导流器的环路行波热声热泵中导流器的结构分解图；

图中：热声发动机单元 1、发动机第一导流器 101、发动机冷端换热器 102、发动机回热器 103、发动机加热器 104、发动机第二导流器 105、热缓冲管 106、次级冷端换热器 107 和发动机谐振管 108；热声热泵单元 2、热泵第一导流器 201、热泵高温端换热器 202、热泵回热器 203、热泵冷端换热器 204 和热泵第二导流器 205、热泵谐振管 206。

## 具体实施方式

[0015] 下面结合具体实施例对本发明做进一步说明。

[0016] 如图 1、2 所示，一种热能驱动的具有导流器的环路行波热声热泵是由 1 个或 1 个以上的热声发动机单元 1 和 1 个或 1 个以上的热声热泵单元 2 首尾串联成环路。

[0017] 所述的热声发动机单元 1 包括顺次相连的发动机第一导流器 101、发动机冷端换热器 102、发动机回热器 103、发动机加热器 104、发动机第二导流器 105、热缓冲管 106、次级冷端换热器 107、发动机谐振管 108；所述的热声热泵单元 2 包括顺次相连的热泵第一导流器 201、热泵高温端换热器 202、热泵回热器 203、热泵冷端换热器 204、热泵第二导流器 205、热泵谐振管 206。

[0018] 所述的发动机冷端换热器 102、发动机回热器 103、发动机加热器 104 的横截面积大于热缓冲管 106、次级冷端换热器 107、发动机谐振管 108 的横截面积；所述的热泵高温端换热器 202、热泵回热器 203、热泵冷端换热器 204 的横截面积大于热泵谐振管 206 的横截面积。

[0019] 所述的发动机第一导流器 101、发动机第二导流器 105、发动机第一导流器 201、发动机第二导流器 205 为具有多孔流道的锥形结构,孔隙率是  $0.4 \sim 0.9$ ,孔的形式是圆孔或者方孔,导流器的材料是铜、不锈钢或者其他硬质高熔点固体。

[0020] 所述发动机第一导流器 101、发动机第二导流器 105、热泵第一导流器 201、热泵第二导流器 205 的两侧分别设有金属丝网。

[0021] 所述热声发动机单元 1 和热声热泵单元 2 的径向尺寸与当地声功的大小相匹配,即声功越大的管段,径向尺寸越大。

[0022] 实施例:

本发明使用的工质为氦气、氩气、二氧化碳等气体或它们的混合物气体。

[0023] 环路中的热声发动机单元和热声热泵单元理论上可以布置一个或多个。本实施例包括三个热声发动机单元 1 和一个热声热泵单元 2,这四个单元首尾串联成环路。

[0024] 发动机第一导流器 101、发动机第二导流器 105、热泵第一导流器 201、热泵第二导流器 205 的一端有 6 个等直径的圆孔。这些圆孔是锥形通孔,因此另一端也有 6 个等直径的圆孔。发动机第一导流器 101、发动机第二导流器 105、热泵第一导流器 201、热泵第二导流器 205 的两端各覆盖有一层不锈钢丝网。

[0025] 该热能驱动的具有导流器的环路行波热声热泵工作时,在三个热声发动机单元 1 中,发动机加热器 104 加热系统内热端的工质气体,发动机冷端换热器 102 则冷却系统内冷端的工质气体,于是将沿发动机回热器 103 逐渐建立温度梯度。当该温度梯度超过一定的阈值时,由于热致声转换效应,系统中的工质气体将产生自激振荡,从而实现热能向声功的转换。声功会在三个热声发动机单元中沿顺时针方向逐级增益,并在经过第三个热声发动机单元后达到最大,然后进入热声热泵单元 2。在热声热泵单元 2 中,由于热声效应,热量将会从热泵冷端换热器 204 泵向热泵高温端换热器 202,从而达到泵热效果。

[0026] 为使热声发动机单元 1 和热声热泵单元 2 的回热器具有高声阻抗的特性,所述热声核心单元(包括发动机冷端换热器 102、发动机回热器 103、发动机加热器 104 以及热泵高温端换热器 202、热泵回热器 203、热泵冷端换热器 204)与相邻的谐振管或热缓冲管(包括热缓冲管 106、次级冷端换热器 107、发动机谐振管 108 以及热泵谐振管 206)的径向尺寸之比为  $3 \sim 8$ 。

[0027] 发动机第一导流器 101、发动机第二导流器 105、热泵第一导流器 201、热泵第二导流器 205 用于横截面积不同部件之间的过渡连接,旨在改善由流道截面积突变所引起的流动不均匀现象并抑制突变截面处的回流。所述导流器放置在锥形管内部,是具有多孔流道的锥形结构,孔隙率是  $0.4 \sim 0.9$ 。孔的形式可以是锥孔、圆孔、方孔或其他几何形状。流道的出入口有倒角,以减小流体进出导流器时的流动损失。导流器的材料可以是铜、不锈钢或者其他硬质高熔点固体。导流器截面积较大一侧覆盖着一层金属丝网,该金属丝网避免了导流器与换热器直接接触造成的换热器部分流道堵塞,还可以使流体在进入换热器之前扩散得更均匀。导流器截面积较小一侧也覆盖着一层金属丝网,该金属丝网抑制了流体从该侧流出时的喷射流。导流器能起到积极的作用。首先,导流器可以使流体在热声核心单元处的流动更均匀。由于存在突变截面,热声核心单元内边缘处的流阻大于中心处的流阻,这会导致当流体从谐振管流入热声核心单元时,中心流速大于边缘流速。这种流速的不均匀会使热声核心单元的边缘处不能被有效利用。导流器可以解决这个问题。其次,导流器还可

以抑制回流。当流体从谐振管流向热声核心单元时,会在突变截面处产生回流,引起流动损失。导流器细化了流道,增大了回流的阻力,从而抑制回流。

[0028] 所述一个或多个热声发动机单元的径向尺寸并不一致。声功在热声发动机单元中逐级增益,相邻的热声发动机单元间的径向尺寸的比例是1.2~1.5。所述一个或多个热声热泵单元的径向尺寸并不一致。声功在热声发动机单元中逐级衰减,各热泵单元的径向尺寸也随声功在各热声热泵单元中的衰减而逐级减小。相邻的热声热泵单元的径向尺寸的比例是0.6~0.8。本实施例中,三个热声发动机单元1各部件的径向尺寸沿顺时针按1.3的比例逐级依次增大。这是因为对于具有环路结构的热声热机来讲,回热器处的高声阻抗特性是系统具有高性能的关键,而在本发明中,声功在三个热声发动机单元1中是逐级增益的,上述径向尺寸的逐级增益使系统中的声阻抗分布更合理,有利于声场与声阻抗的匹配,提高热声转换效率并减小声功损耗。

[0029] 最后应该说明的是,上述对实施例的描述是为便于本技术领域的普通技术人员能理解和应用本发明。熟悉本领域技术的人员显然可以容易地对上述实施例做出各种修改,并把在此说明的一般原理应用到其他实施例中而不必经过创造性的劳动。因此,本发明不限于上述实施例,本领域技术人员根据本发明的揭示,对于本发明做出的改进和修改都应该在本发明的保护范围之内。

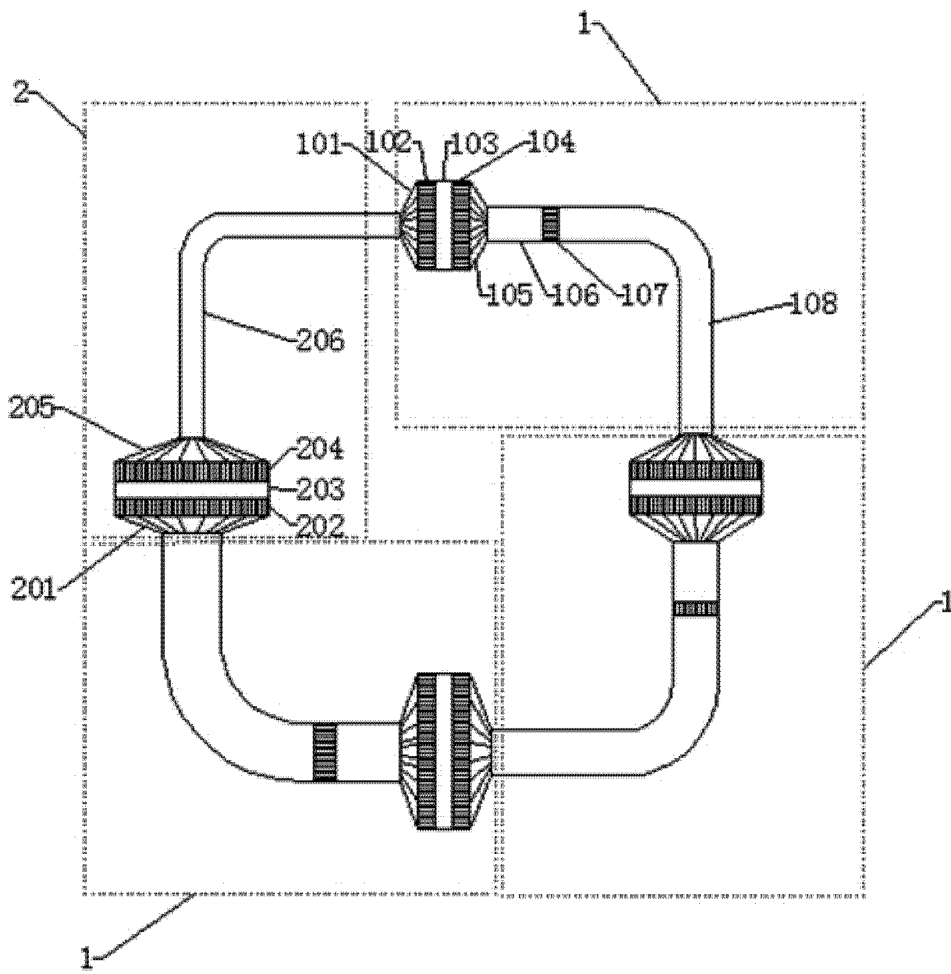


图 1

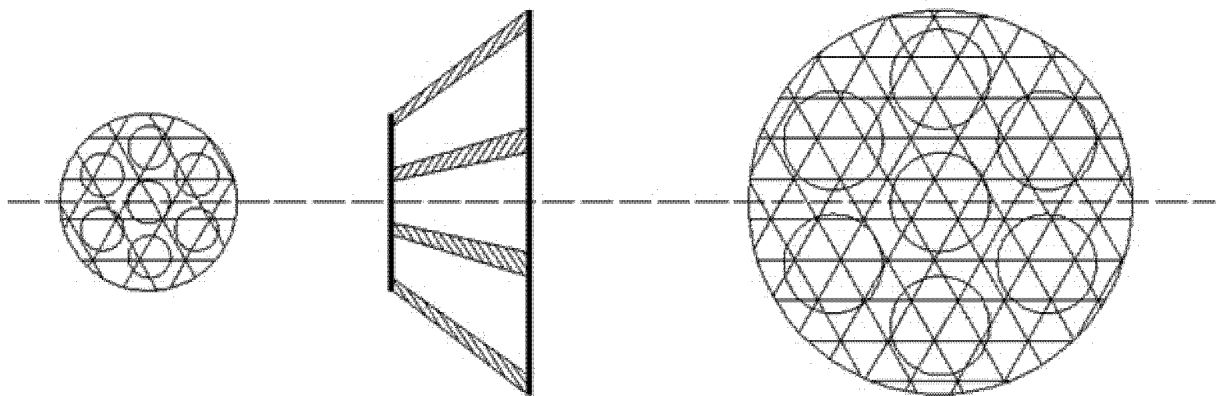


图 2