



# (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104807234 B

(45)授权公告日 2017.01.18

(21)申请号 201510170198.2

审查员 黄坚

(22)申请日 2015.04.10

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104807234 A

(43)申请公布日 2015.07.29

(73)专利权人 中国科学院理化技术研究所

地址 100190 北京市海淀区中关村东路29号

(72)发明人 戴巍 余国瑶 罗二仓

(74)专利代理机构 北京方安思达知识产权代理

有限公司 11472

代理人 王宇杨 杨青

(51)Int.Cl.

F25B 9/14(2006.01)

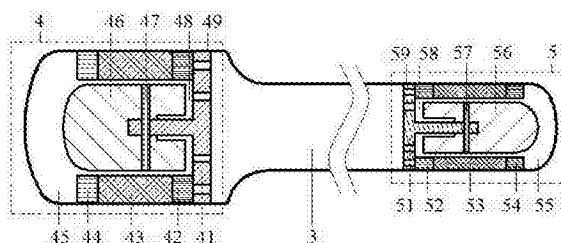
权利要求书2页 说明书7页 附图3页

(54)发明名称

一种热驱动低温制冷机系统

(57)摘要

本发明涉及的热驱动低温制冷机系统,其由自由活塞斯特林发动机、自由活塞斯特林制冷机及声学谐振管组成;声学谐振管为一等径或变径管道,自由活塞斯特林发动机的发动机缸体和自由活塞斯特林制冷机的制冷机缸体分别连接于声学谐振管的两侧;由自由活塞斯特林发动机产生的声功经由声学谐振管传输至自由活塞斯特林制冷机,并产生制冷效应;声学谐振管不仅起传输声功作用,而且还起声场调相功能;该热驱动低温制冷机系统的热-声、声-冷转换核心部件一回热器中的声场均为行波相位,热效率高,同时兼具高功率密度和可靠性,可在80~150K温区获得几百至几千瓦,甚至更高的制冷量。



1. 一种热驱动低温制冷机系统,其由自由活塞斯特林发动机、自由活塞斯特林制冷机及声学谐振管组成;其特征在于,所述声学谐振管为一等径或变径管道,所述自由活塞斯特林发动机的发动机缸体和所述自由活塞斯特林制冷机的制冷机缸体分别连接于所述声学谐振管的两侧。

2. 按权利要求1所述的热驱动低温制冷机系统,其特征在于,所述自由活塞斯特林发动机与所述自由活塞斯特林制冷机的结构相同,二者均包括:

与所述声学谐振管一侧相连通的缸体;

固定于所述缸体内近声学谐振管侧的固定底座;

依次装于所述缸体内壁上的环状放热端换热器、环状回热器和环状吸热端换热器,所述环状放热端换热器与所述固定底座相连;

装于环状放热端换热器、环状回热器和环状吸热端换热器构成的空腔内部的带有平面支撑弹簧或气体弹簧的排出器;

所述排出器通过平面支撑弹簧的中心与固定底座固定连接;或者采用气体轴承支撑,并由气体弹簧提供往复力;

所述排出器与缸体的内顶端构成膨胀腔;

所述排出器与所述固定底座之间的空腔形成压缩腔;所述固定底座上设有通孔与放热端换热器相连通;所述膨胀腔与压缩腔相连通,所述排出器在压缩腔和膨胀腔之间往复振动。

3. 按权利要求2所述的热驱动低温制冷机系统,其特征在于,所述吸热端换热器和放热端换热器为翅片式换热器或管壳换热器;所述吸热端换热器和放热端换热器的壁面材料为紫铜或铝合金;所述吸热端换热器和放热端换热器的外侧壳体材料为不锈钢;所述回热器内部填充不锈钢丝网、不锈钢纤维毡或者不锈钢丝绵。

4. 按权利要求2所述的热驱动低温制冷机系统,其特征在于,所述排出器为等径的圆筒或为变径圆锥筒,其材质为不锈钢或铝合金。

5. 按权利要求1所述的热驱动低温制冷机系统,其特征在于,所述的自由活塞斯特林发动机、声学谐振管和自由活塞斯特林制冷机三者采用同轴直线布置、L型布置或者U型布置。

6. 按权利要求2所述的热驱动低温制冷机系统,其特征在于,所述的排出器与缸体内壁之间设有密封件。

7. 按权利要求2所述的热驱动低温制冷机系统,其特征在于,所述的环状吸热端换热器为板翅式结构换热器、管束式结构换热器或在环状吸热端换热器外部增加换热翅片。

8. 按权利要求1所述的热驱动低温制冷机系统,其特征在于,所述的自由活塞斯特林发动机和自由活塞斯特林制冷机均为两个,且各自结构相同,声学谐振管为一个;两个自由活塞斯特林发动机对置布置,两者的固定底座与声学谐振管之间采用一个三通管相连通;两个自由活塞斯特林制冷机对置布置,两者的固定底座与声学谐振管之间采用一个三通管相连通;两个自由活塞斯特林发动机和两个自由活塞斯特林制冷机分别置于声学谐振管的两端。

9. 按权利要求1所述的热驱动低温制冷机系统,其特征在于,所述热驱动低温制冷机系统为两个,该两个热驱动低温制冷机系统的自由活塞斯特林发动机相对放置,并与两个自由活塞斯特林制冷机沿同一轴线对称布置。

10. 按权利要求9所述的热驱动低温制冷机系统,其特征在于,两个自由活塞斯特林发动机的缸体相互连通,两者共用一个膨胀腔。

11. 根据权利要求9所述的热驱动低温制冷机系统,其特征在于,所述的两个对置布置的热驱动低温制冷机系统相互独立,两者的缸体之间刚性连接,两个声学谐振管之间采用一声导管相连通,连接位置为声学谐振管与自由活塞斯特林发动机的结合处或者声学谐振管与自由活塞斯特林制冷机的结合处。

## 一种热驱动低温制冷机系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及热能动力系统领域,尤其涉及一种热驱动低温制冷机系统。

### 背景技术

[0002] 气体液化和再冷凝技术在气体运输和储存领域具有十分重要的意义,通过液化可获得气体体积的极大缩小,从而实现大规模、长距离运输和长期储存,是低温技术在工业生产中最为重要的应用之一。对于部分可燃性气体,如天然气、煤层气和页岩气等,通过燃烧一小部分气体从而将剩余绝大部分气体液化,是一种非常高效的工作模式,在矿井、远洋运输和加气站等场合具有广阔的市场和发展前景。这一液化方式的常规技术路径为先采用燃气轮机和电机等发电设备将可燃性气体的燃烧热能转化成电能,然后利用该电能带动压缩机和制冷机最终将气体液化;这一液化模式固然可充分利用发电和气体液化领域的成熟技术以获得高效的液化率,但其缺点亦较为明显:结构复杂、可靠性低、维护成本高等。

[0003] 通过燃烧以液化气体的另一条技术路径是采用外燃回热式发动机驱动回热式制冷机,由一台设备实现燃烧热能向低温下制冷量的转化。外燃回热式发动机将外部燃烧热能转化为内部往复振荡工质的声能,该声能直接被回热式制冷机利用而产生制冷效应,转化成低温下的制冷量。相比常规技术路径,这一液化模式仅用单一设备即可实现气体液化,省去了发电这一中间环节,因而具有结构简单、可靠性高和维护成本低等显著优势。从20世纪80年代开始,研究人员便开始了这一技术路径的探索。典型的技术形式包括由热声发动机和热声制冷机耦合成的热驱动低温制冷机(热声型)、由自由活塞斯特林发动机和自由活塞斯特林制冷机耦合成的热驱动低温制冷机(自由活塞型)。这类热机内部无机械传动机构、无油润滑装置,采用氦气或者氮气作为工质,因而还具有绿色环保的突出特点。

[0004] 图1和图2分别给出了热声型和自由活塞型热驱动低温制冷机的基本结构。从图1中可以看出,热声型热驱动低温制冷机由热声发动机单元1、声学谐振管3和热声制冷机单元2组成。其中,热声发动机单元1由反馈管11、放热端换热器12、回热器13、吸热端换热器14、热缓冲管15和次放热端换热器16组成;热声制冷机单元2由反馈管21、放热端换热器22、回热器23、吸热端换热器24、热缓冲管25和次放热端换热器26组成。热声发动机单元1和热声制冷机单元2均利用热声效应而工作,其核心部件为热声转换单元和声学调相机构,前者由回热器(回热器13、回热器23)和换热器(吸热端换热器14,放热端换热器12;吸热端换热器24,放热端换热器22)组成,实现热致声或声致冷效应,后者则由声学管道组成,实现前者的声场相位。为保证高效运行,发动机单元1采用基于可逆斯特林循环的行波热声发动机,制冷机单元2采用斯特林型脉冲管制冷机或可回收声功的行波热声制冷机。热声型热驱动低温制冷机由简单的管道和换热器组成,无任何机械运动部件,因而具有热效率高、结构简单、可靠性高和维护成本极低等突出优点。但其缺点同样不可忽视,声学调相机构和声学谐振管利用往复振荡气体而工作,因而体积和重量大,功率密度低;环路声学机构引起的Gedeon声直流需要引入其他机构进行抑制,增加了额外损失和复杂度;热声发动机出口和热声制冷机入口处的声场接近驻波声场,致使声学谐振管的声功传输能力严重受制于管道

面积,进一步降低了系统功率密度。

[0005] 从图2中可以看出,自由活塞型热驱动低温制冷机由自由活塞斯特林发动机单元4、机械谐振单元6(由谐振子61和平面支撑弹簧62组成)和自由活塞斯特林制冷机单元5组成。和热声型热驱动低温制冷机相同,自由活塞斯特林发动机单元4和自由活塞斯特林制冷机单元5均基于热声效应而工作,其理论效率与卡诺效率相当,亦属于热声热机范畴。不同的是,自由活塞斯特林热机的调相功能由机械谐振单元和排出器系统这两个机械运动系统来实现,系统内没有热缓冲管和相应的射流损失,无需额外声流抑制措施,无重力效应。因而,其具有热效率高、结构紧凑和功率密度高等突出优点。然而,自由活塞型热驱动低温制冷机包含三个机械运动单元,结构复杂,机体振动大。

## 发明内容

[0006] 本发明的目的在于针对以上两种热驱动低温制冷机各自存在的缺点,而提出的一种热驱动低温制冷机系统,它不仅能充分利用自由活塞斯特林热机热效率高、结构紧凑和功率密度高的优点,同时能充分利用声学谐振管结构简单、振动小的优点。该声学谐振管不仅起着传输声功的作用,而且还能有效耦合自由活塞斯特林发动机和自由活塞斯特林制冷机,使两者出口的声场远离驻波声场,提升声学谐振管的功率密度。

[0007] 本发明提供的热驱动低温制冷机系统综合了热声型和自由活塞型热驱动低温制冷机的优点,采用声学谐振管取代自由活塞型热驱动低温制冷机的机械谐振单元,简化系统结构,降低机体振动,可克服现有技术中的不足。

[0008] 本发明的技术方案如下:

[0009] 本发明提供的热驱动低温制冷机系统,其由自由活塞斯特林发动机、自由活塞斯特林制冷机及声学谐振管组成;其特征在于,所述声学谐振管为一等径或变径管道,所述自由活塞斯特林发动机的发动机缸体和所述自由活塞斯特林制冷机的制冷机缸体分别连接于所述声学谐振管的两侧。

[0010] 所述自由活塞斯特林发动机与所述自由活塞斯特林制冷机的结构相同,二者均包括:

[0011] 与所述声学谐振管一侧相连通的缸体;

[0012] 固定于所述缸体内近声学谐振管侧的固定底座;

[0013] 依次装于所述缸体内壁上的环状放热端换热器、环状回热器和环状吸热端换热器,所述环状放热端换热器与所述固定底座相连;

[0014] 装于环状放热端换热器、环状回热器和环状吸热端换热器构成的空腔内部的带有平面支撑弹簧或气体弹簧的排出器;

[0015] 所述排出器通过平面支撑弹簧的中心与固定底座固定连接;或者采用气体轴承支撑,并由气体弹簧提供往复力;

[0016] 所述排出器与缸体的内顶端构成膨胀腔;

[0017] 所述排出器与所述固定底座之间的空腔形成压缩腔;所述固定底座上设有通孔与放热端换热器相连通;所述膨胀腔与压缩腔相连通,所述排出器在压缩腔和膨胀腔之间往复振动。

[0018] 所述环状吸热端换热器和放热端换热器为翅片式换热器或管壳换热器;所述环状

吸热端换热器和放热端换热器的壁面材料为紫铜或铝合金；所述环状吸热端换热器和放热端换热器的外侧壳体材料为不锈钢；所述回热器内部填充不锈钢丝网、不锈钢纤维毡或者不锈钢丝绵。

[0019] 所述排出器为等径的圆筒或为变径圆锥筒，其材质为不锈钢或铝合金。

[0020] 所述的自由活塞斯特林发动机、声学谐振管和自由活塞斯特林制冷机三者采用同轴直线布置、L型布置或者U型布置。

[0021] 所述的排出器与缸体内壁之间设有密封件。

[0022] 所述的环状吸热端换热器为板翅式结构换热器、管束式结构换热器或在环状吸热端换热器外部增加换热翅片。

[0023] 所述的自由活塞斯特林发动机和自由活塞斯特林制冷机均为两个，且各自结构相同，声学谐振管为一个；两个自由活塞斯特林发动机对置布置，两者的固定底座与声学谐振管之间采用一个三通管相连通；两个自由活塞斯特林制冷机对置布置，两者的固定底座与声学谐振管之间采用一个三通管相连通；两个自由活塞斯特林发动机和两个自由活塞斯特林制冷机分别置于声学谐振管的两端。

[0024] 所述热驱动低温制冷机系统为两个，该两个热驱动低温制冷机系统的自由活塞斯特林发动机相对放置，并与两个自由活塞斯特林制冷机沿同一轴线对称布置；所述的两个自由活塞斯特林发动机的缸体相互连通，两者共用一个膨胀腔。

[0025] 所述的两个对置布置的热驱动低温制冷机系统的缸体刚性连接但膨胀腔不连通，两个声学谐振管之间采用一声导管相连通，连接位置为声学谐振管与自由活塞斯特林发动机的结合处或声学谐振管与自由活塞斯特林制冷机的结合处。

[0026] 本发明提供的热驱动低温制冷机系统，综合了热声型热驱动低温制冷机和自由活塞型热驱动低温制冷机的各自优点，采用声学谐振管耦合一自由活塞斯特林发动机和一自由活塞斯特林制冷机，使该热驱动低温制冷机不仅具有热效率高、结构紧凑和功率密度高的优点，而且具有结构简单、振动小和可靠性高的优点。

## 附图说明

[0027] 图1是热声型热驱动低温制冷机系统结构示意图；

[0028] 图2是自由活塞型热驱动低温制冷机结构示意图；

[0029] 图3是实施例1提供的热驱动低温制冷机系统单机结构示意图；

[0030] 图4是实施例2提供的热驱动低温制冷机系统冷/热头对置式布置结构示意图；

[0031] 图5是实施例3提供的热驱动低温制冷机系统耦合对置式布置结构示意图；

[0032] 图6是实施例4提供的热驱动低温制冷机系统分置对置式布置结构示意图；

[0033] 图7是实施例1提供的热驱动低温制冷机系统工作原理示意图。

## 具体实施方式

[0034] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合附图及实施例对本发明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。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做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。

[0035] 实施例1

[0036] 图3是本发明的热驱动低温制冷机系统(实施例1)结构示意图;如图3所示,本实施例的热驱动低温制冷机系统,其由自由活塞斯特林发动机4、自由活塞斯特林制冷机5及声学谐振管3组成;所述声学谐振管3为一直径圆筒形管道,自由活塞斯特林发动机4的发动机缸体49和自由活塞斯特林制冷机5的制冷机缸体59分别连接于声学谐振管3的两侧。

[0037] 所述自由活塞斯特林发动机4与所述自由活塞斯特林制冷机5的结构相同;

[0038] 所述自由活塞斯特林发动机4包括:

[0039] 与所述声学谐振管3一侧相连通的发动机缸体49;

[0040] 固定于所述发动机缸体49内近声学谐振管3侧的发动机固定底座41;

[0041] 依次装于所述发动机缸体49内壁上的发动机环状放热端换热器42、发动机环状回热器43和发动机环状吸热端换热器44,所述发动机环状放热端换热器42与所述发动机固定底座41相连;

[0042] 装于发动机环状放热端换热器42、发动机环状回热器43和发动机环状吸热端换热器44构成的空腔内部的带有发动机平面支撑弹簧47的发动机排出器46;

[0043] 发动机排出器46通过发动机平面支撑弹簧47与发动机固定底座的中心连接杆固定连接;

[0044] 发动机排出器46与发动机缸体49的内顶端构成发动机膨胀腔45;

[0045] 发动机排出器46与所述发动机固定底座41之间的空腔形成发动机压缩腔48;发动机固定底座41上设有通孔与发动机环状放热端换热器42相连通;发动机膨胀腔45与发动机压缩腔48相连通,发动机排出器46在发动机压缩腔48和发动机膨胀腔45之间往复振动;

[0046] 发动机环状吸热端换热器44与发动机环状放热端换热器42通常为环形结构,一般为翅片式换热器或管壳换热器,发动机换热壁面材料通常为紫铜或铝合金,外侧壳体材料一般为不锈钢,具体形式可根据实际换热需要决定;

[0047] 发动机环状回热器43内部填充多孔材料,通常为不锈钢丝网、不锈钢纤维毡或者不锈钢随机丝绵;

[0048] 发动机排出器46的主体为等截面或变截面圆筒,材料一般选用不锈钢或铝合金,且壁厚较薄,以减小轴向导热损失;由于一侧连接着发动机固定底座41,因此,发动机排出器46两端气体压力作用的面积并不相同;两端压差也构成了发动机排出器46往复振动的回复力的一部分;

[0049] 发动机排出器46与发动机气缸壁间采用间隙密封,既可减小发动机膨胀腔45与发动机压缩腔48间的窜气损失与漏热损失,同时也避免了接触密封引起的摩擦损失;

[0050] 发动机平面支撑弹簧47中心连接发动机固定底座41,边缘连接发动机排出器46;发动机平面支撑弹簧47一方面约束发动机排出器46的径向位移,防止间隙密封遭到破坏,另一方面提供发动机排出器46在轴向方向往复运动时所需的回复力;在某些特殊应用场合,发动机排出器的支撑亦可采用气浮轴承方式;

[0051] 发动机固定底座41通常为T型结构;边缘固定于发动机缸体49,中心连接杆固定发动机平面支撑弹簧47;

[0052] 所述自由活塞斯特林制冷机5包括:

[0053] 与所述声学谐振管3一侧相连通的制冷机缸体59;

- [0054] 固定于所述制冷机缸体59内近声学谐振管3侧的制冷机固定底座51；
- [0055] 依次装于制冷机缸体59内壁上的制冷机环状放热端换热器52、制冷机环状回热器53和制冷机环状吸热端换热器54，制冷机环状放热端换热器52与制冷机固定底座51相连；
- [0056] 装于制冷机环状放热端换热器52、制冷机环状回热器53和制冷机环状吸热端换热器54构成的空腔内部的带有制冷机平面支撑弹簧57的制冷机排出器56；
- [0057] 制冷机排出器56通过制冷机平面支撑弹簧57与制冷机固定底座51的中心连接杆固定连接；
- [0058] 制冷机排出器56与制冷机缸体59的内顶端构成制冷机膨胀腔55；
- [0059] 制冷机排出器56与制冷机固定底座51之间的空腔形成制冷机压缩腔58；制冷机固定底座51上设有通孔与制冷机环状放热端换热器52相连通；制冷机膨胀腔55与制冷机压缩腔58相连通，制冷机排出器56在制冷机压缩腔58和制冷机膨胀腔55之间往复振动；
- [0060] 制冷机环状吸热端换热器54与制冷机环状放热端换热器52通常为环形结构，一般为翅片式换热器或管壳换热器，制冷机换热壁面材料通常为紫铜或铝合金，外侧壳体材料一般为不锈钢，具体形式可根据实际换热需要决定；
- [0061] 制冷机环状回热器53内部填充多孔材料，通常为不锈钢丝网、不锈钢纤维毡或者不锈钢随机丝绵；
- [0062] 制冷机排出器56的主体为等截面或变截面圆筒，材料一般选用不锈钢或铝合金，且壁厚较薄，以减小轴向导热损失；由于一侧连接着发动机固定底座41，因此，制冷机排出器56两端气体压力作用的面积并不相同；两端压差也构成了制冷机排出器56往复振动的回复力的一部分；
- [0063] 制冷机排出器56与发动机气缸壁间采用间隙密封，既可减小制冷机膨胀腔55与制冷机压缩腔58间的窜气损失与漏热损失，同时也避免了接触密封引起的摩擦损失；
- [0064] 制冷机平面支撑弹簧57中心连接制冷机固定底座51，边缘连接制冷机排出器56；制冷机平面支撑弹簧57一方面约束制冷机排出器56的径向位移，防止间隙密封遭到破坏，另一方面提供制冷机排出器56在轴向方向往复运动时所需的回复力；在某些特殊应用场合，发动机排出器的支撑亦可采用气浮轴承方式；
- [0065] 制冷机固定底座51通常为T型结构；边缘固定于制冷机缸体59，中心连接杆固定制冷机平面支撑弹簧57；
- [0066] 声学谐振管3为一等径或者变径管道，其一端与自由活塞斯特林发动机4的发动机压缩腔48相连，另一端与自由活塞斯特林制冷机5的制冷机压缩腔58相连；
- [0067] 自由活塞斯特林发动机4、声学谐振管3、自由活塞斯特林制冷机5三部分可同轴排列，所述声学谐振管3位于活塞斯特林发动机4与自由活塞斯特林制冷机5中间；该三部分亦可根据应用场合而布置成L型或者U型等其他结构形式。
- [0068] 本实施例的热驱动低温制冷机系统的工作过程由若干个循环周期构成，每一个循环周期可分为图7所示的a-b, b-c, c-d和d-a共4个过程，具体如下，以下自由活塞斯特林发动机4和自由活塞斯特林制冷机5分别简称为发动机和制冷机：
- [0069] a-b过程：发动机排出器46自平衡位置向左止点移动，使气体在制冷机压缩腔58内被压缩，并通过制冷机环状放热端换热器52向外界放热；此时，由于声学谐振管3的调相作用，制冷机排出器56从偏离右止点的某一位置（该位置由工作温区和制冷量等具体设计参



数而定)向左侧移动,气体从制冷机压缩腔58流经制冷机环状回热器53进入制冷机膨胀腔55,途中将热量释放给制冷机环状回热器53,气体温度降低,然后气体在制冷机膨胀腔55内膨胀吸热,产生制冷量;

[0070] b-c过程:发动机排出器46从左止点向平衡位置移动,气体热量从发动机压缩腔48流经发动机环状回热器43进入发动机膨胀腔45,途中将热量释放给发动机环状回热器43,气体温度降低;此时,制冷机排出器56继续向左移动通过左止点并移动至偏离左止点的某一位置,气体先继续在制冷机膨胀腔55内膨胀吸热,然后从制冷机膨胀腔55流经制冷机环状回热器53进入制冷机压缩腔58,途中气体与制冷机环状回热器53进行换热,制冷机环状回热器53温度降低,气体温度升高;

[0071] c-d过程:发动机排出器46从平衡位置向右止点移动,气体在发动机膨胀腔45内,通过吸热发动机端换热器44从外界吸热膨胀,此过程中,发动机环状回热器43将热能转换为声能;此时,制冷机排出器56继续向右移动,经过平衡位置到达距离右止点的某一位置,气体先是继续流入制冷机压缩腔58,然后在制冷机压缩腔58内被压缩,并通过制冷机环状放热端换热器52向外界放热;

[0072] d-a过程:发动机排出器46从右止点回到平衡位置,气体热量从发动机膨胀腔45流经发动机环状回热器43进入发动机压缩腔48,图中将热量释放给发动机环状回热器43,发动机环状回热器43温度升高,气体温度降低。此时,制冷机排出器56先是继续向右到达右止点,然后向左移动到初始位置,气体先是继续在制冷机压缩腔58内压缩并通过制冷机环状放热端换热器52向外界放热,然后气体从制冷机压缩腔58流经制冷机环状回热器53进入制冷机膨胀腔55,途中与制冷机环状回热器53换热,制冷机环状回热器53温度升高,气体温度降低;

[0073] 完成上述一完整循环过程后,发动机4将外部燃烧热能转化为声能,并通过声学谐振管3将部分声能传输至制冷机5,制冷机5将声能转化成某一设定温度下的制冷量。发动机4和制冷机5的排出器(46、56)均做简谐振动,后者相位超前于前者。

[0074] 基于上述,本发明的热驱动低温制冷机系统,其不仅具有自由活塞型热驱动低温制冷机的热效率高、结构紧凑和功率密度高的优点,而且由于声学谐振管的引入而简化了系统结构,使系统具有振动小和可靠性高的优点。

[0075] 实施例2:

[0076] 图4是本发明实施例2的热驱动低温制冷系统的结构示意图;由图4可知,本实施例的热驱动低温制冷系统由位于声学谐振管3两侧为两个自由活塞斯特林发动机4和两个自由活塞斯特林制冷机5组成;两个自由活塞斯特林发动机4和两个自由活塞斯特林制冷机5分别呈对置布置;两个自由活塞斯特林发动机4的发动机固定底座41与声学谐振管3之间采用一个三通管连接,两个自由活塞斯特林制冷机5的制冷机固定底座51与声学谐振管3之间亦采用一个三通管连接;

[0077] 实施例2的工作原理与实施例1相同,区别在于实施例2中的自由活塞斯特林发动机4和自由活塞斯特林制冷机5均为两个,且结构参数完全相同,并呈对置布置;如图4所示,两个自由活塞斯特林发动机4在同一条轴线上,发动机固定底座41通过一个三通管连接,此布置可使两个自由活塞斯特林发动机的发动机排出器46运动相位相差 $180^{\circ}$ ,同样的布置方式亦使自由活塞斯特林制冷机的制冷剂排出器56运动相位相差 $180^{\circ}$ ,从而完全抵消由排出

器引起的震动。相比实施例1,实施例2振动、噪音更小,功率密度更高。

[0078] 实施例3:

[0079] 图5是本发明实施例3的热驱动低温制冷机系统对置式耦合布置的结构示意图;如图5所示,两个自由活塞斯特林制冷机4和声学谐振管3分别各自独立,而两个自由活塞斯特林发动机4则共享同一个膨胀腔,该耦合对置式布置系统沿轴向呈对称布置结构;

[0080] 实施例3的工作原理与实施例1相同,区别在于实施例3采用两套结构参数完全相同的系统沿轴向对称布置;如图5所示,这两套系统的发动机共用同一个发动机膨胀腔,可使两个发动机排出器运动相位相差 $180^{\circ}$ ,进而使两个制冷机排出器运动相位也相差 $180^{\circ}$ ,从而完全抵消两套系统的机体震动;两个对置布置的热驱动低温制冷机系统的两个声学谐振管3之间采用一声导管72相连通,连接位置为声学谐振管与自由活塞斯特林发动机的结合处或声学谐振管与自由活塞斯特林制冷机的结合处;相比实施例1,实施例3其震动噪音小,结构紧凑,两套系统的一致性良好,有利于获得大制冷量。

[0081] 实施例4:

[0082] 图6是本发明实施例4提供的热驱动低温制冷机系统分置对置式布置结构示意图;如图6所示,自由活塞斯特林发动机4、自由活塞斯特林制冷机5和声学谐振管3均为两个且相对布置,两个自由活塞斯特林发动机的发动机环状吸热端换热器相互独立且相互靠近,通过一刚性件71连接两个发动机的缸体;为平衡两个热驱动低温制冷机系统内的压力、消除因为机械加工、装配等造成的两个系统的不一致性和保持两套系统的运动相位相差 $180^{\circ}$ ,两个系统的声学谐振管通过一声导管连接。

[0083] 其工作原理与实施例1相同,区别在于实施例4采用两套结构参数完全相同的系统对置布置;如图6所示,将两套系统同轴对称布置,采用刚性件71连接两个发动机的缸体,并采用声导管平衡压力和保持一致性,使两套系统的平均压力完全相同,系统内的压力波动完全相同,保证两套系统内的排出器运行相位完全相同,从而排出器的振动由于对称布置结构而完全抵消。相比实施例1,实施例4震动噪音小;相比实施例3,实施例4装配难度低,可靠性较高;同时,实施例4亦有利于获得更大的制冷量。

[0084] 最后应说明的是:以上各实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述各实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分或者全部技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的范围。

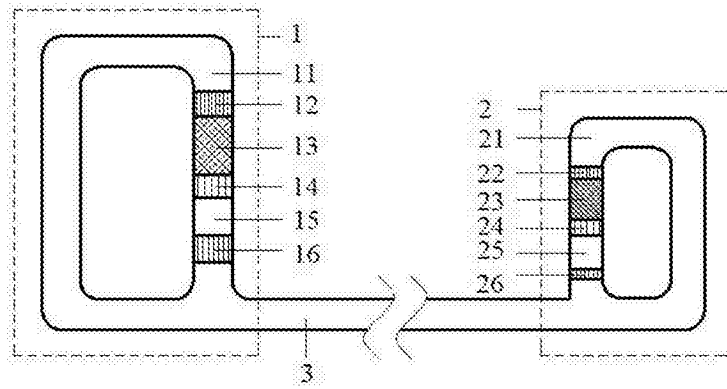


图1

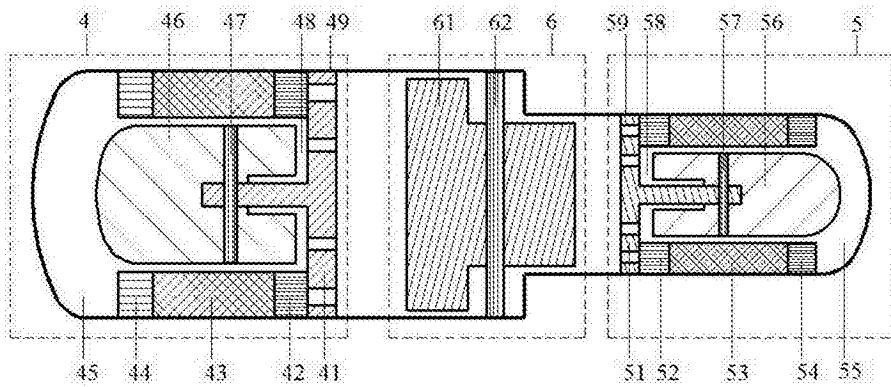


图2

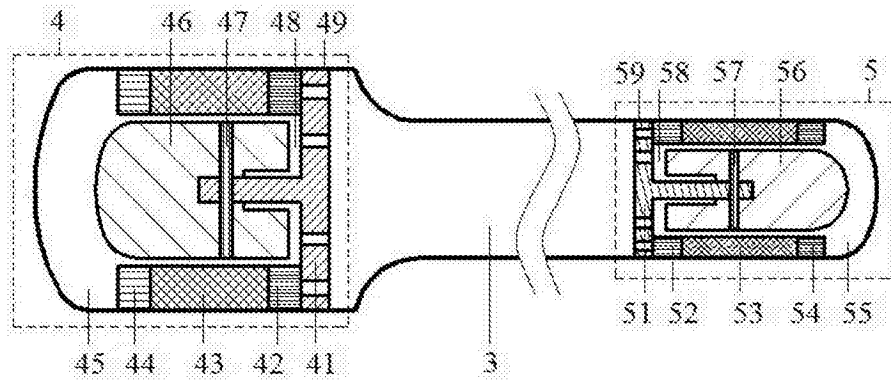


图3

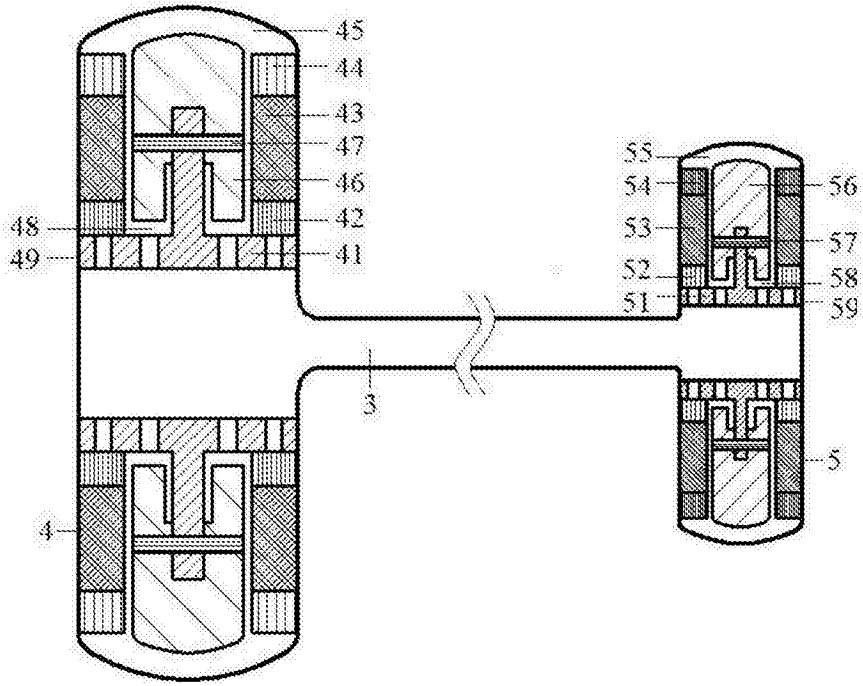


图4

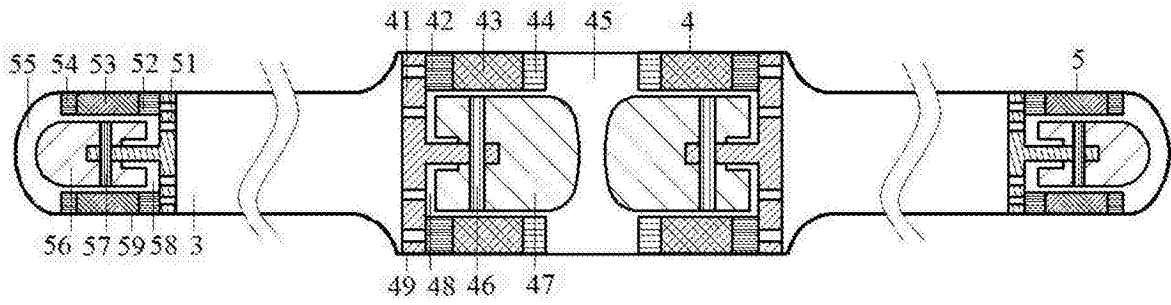


图5

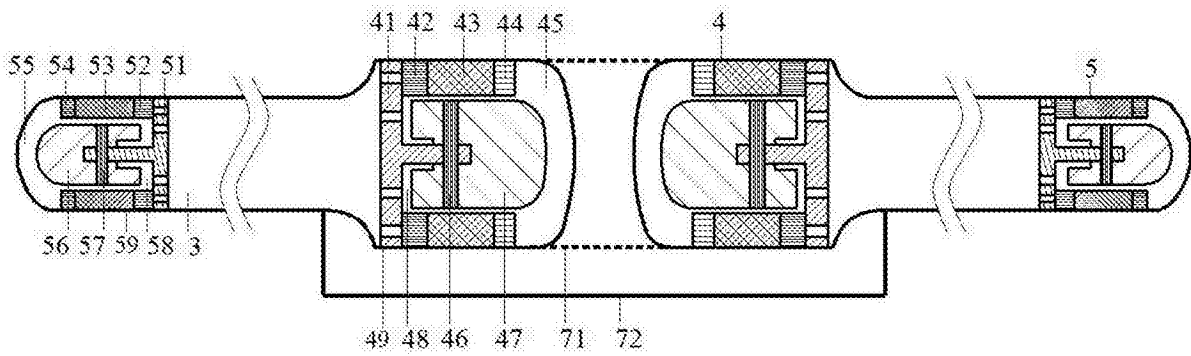


图6

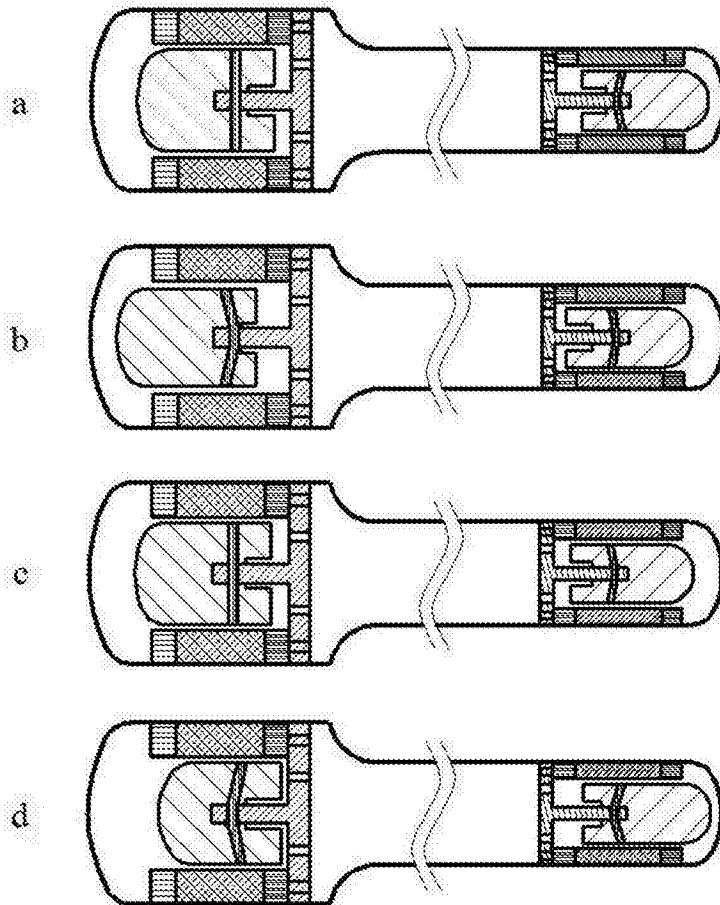


图7