



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112303953 A

(43) 申请公布日 2021.02.02

(21) 申请号 202010737117.3

(22) 申请日 2020.07.28

(71) 申请人 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 吴张华 李萍 罗开琦 罗二仓
胡剑英 张丽敏

(74) 专利代理机构 北京路浩知识产权代理有限公司 11002

代理人 张琪

(51) Int. Cl.
F25B 27/02 (2006.01)
F25B 23/00 (2006.01)

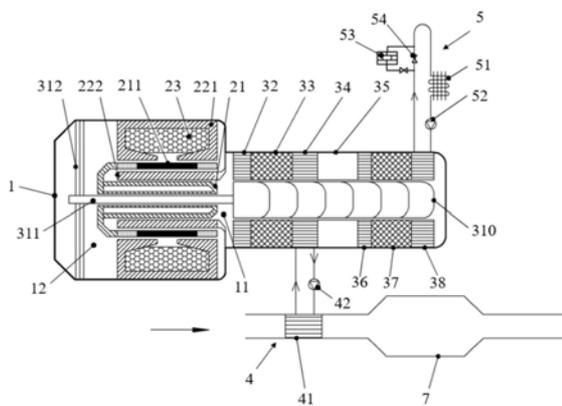
权利要求书1页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种余热驱动制冷机

(57) 摘要

本发明实施例涉及制冷机技术领域。提供一种余热驱动制冷机,包括机壳、直线电机、热冷转换单元、排气管余热获取单元和冷量输出单元;热冷转换单元包括排出器以及围绕于排出器并沿排出器的轴向顺次相连的热声发动机室温冷却器、热声发动机回热器、热声发动机高温换热器、热缓冲管、制冷机室温冷却器、制冷机回热器和冷头;直线电机的活塞与热声发动机室温冷却器和排出器相联通;排气管余热获取单元连接热声发动机高温换热器和排气管而形成热交换回路;冷量输出单元与所述冷头相连并形成热交换回路。本发明实施例提供的余热驱动制冷机实现较高的热效率的同时,结构紧凑,能够满足车、船等移动交通工具有限的安装空间。



1. 一种余热驱动制冷机,其特征在于,包括机壳、安装于所述机壳内部的直线电机和热冷转换单元、排气管余热获取单元和冷量输出单元;

所述热冷转换单元包括排出器以及围绕于所述排出器并沿所述排出器的轴向顺次相连的热声发动机室温冷却器、热声发动机回热器、热声发动机高温换热器、热缓冲管、制冷机室温冷却器、制冷机回热器和冷头;所述排出器与固定于所述机壳的弹性件固定连接,所述弹性件用于为所述排出器提供往复力;

所述直线电机包括作为动子的活塞,所述活塞与所述热声发动机室温冷却器和所述排出器相联通;所述排气管余热获取单元连接所述热声发动机高温换热器和排气管而形成热交换回路;所述冷量输出单元与所述冷头相连而形成热交换回路。

2. 根据权利要求1所述的余热驱动制冷机,其特征在于,所述弹性件安装于所述直线电机的背腔,所述排出器通过连杆与所述弹性件固定连接,所述连杆活动穿设于所述活塞。

3. 根据权利要求2所述的余热驱动制冷机,其特征在于,包括一一对应设置的多个所述直线电机和多个所述热冷转换单元,多个所述热冷转换单元靠近所述冷头的一端相互连接;

所述排气管余热获取单元同时连接多个所述热冷转换单元的所述热声发动机高温换热器和排气管而形成热交换回路,所述冷量输出单元同时与多个冷热转换单元的所述冷头相连而形成热交换回路。

4. 根据权利要求3所述的余热驱动制冷机,其特征在于,多个所述直线电机的活塞在同一平面上相对多个所述热冷转换单元相互连接的连接点呈中心对称分布,多个所述直线电机的活塞相对所述连接点同步运动。

5. 根据权利要求1所述的余热驱动制冷机,其特征在于,包括多个所述直线电机,多个所述直线电机的所述活塞与同一所述热冷转换单元的所述热声发动机室温冷却器和所述排出器相联通。

6. 根据权利要求5所述的余热驱动制冷机,其特征在于,多个所述直线电机的活塞在同一平面上相对所述热冷转换单元的排出器的中心轴呈中心对称分布,多个所述直线电机的活塞相对所述排出器的中心轴同步运动。

7. 根据权利要求1~6任一项所述的余热驱动制冷机,其特征在于,所述热声发动机室温冷却器、热声发动机回热器、热声发动机高温换热器、热缓冲管、制冷机室温冷却器、制冷机回热器和冷头构成的内壁与所述排出器之间,所述活塞与所述直线电机的缸体之间均采用间隙密封或干摩擦密封。

8. 根据权利要求1~6任一项所述的余热驱动制冷机,其特征在于,所述排气管余热获取单元包括尾气换热器和高温循环泵,所述尾气换热器、所述高温循环泵和所述热声发动机高温换热器依次相连构成排气管余热回收系统。

9. 根据权利要求1~6任一项所述的余热驱动制冷机,其特征在于,所述冷量输出单元包括空气换热器和低温循环泵,所述空气换热器、所述低温循环泵和所述冷头依次相连构成降温系统。

10. 根据权利要求9所述的余热驱动制冷机,其特征在于,所述冷量输出单元还包括储冷罐,所述空气换热器与所述冷头的连通管路上设置有分流阀,所述分流阀的一个出口与所述空气换热器直接相连,另一出口通过所述储冷罐与所述空气换热器相连。

一种余热驱动制冷机

技术领域

[0001] 本发明涉及制冷机技术领域,尤其涉及一种余热驱动制冷机。

背景技术

[0002] 为了在车、船等交通工具上创造舒适的人机环境以及保存食品,需要利用制冷机制冷。目前多是采用发动机直接带动压缩机或发电后带动压缩机,利用压缩机驱动工质完成制冷循环实现制冷。这样大幅提高了发动机的燃料消耗,增加了运行费用。而余热驱动制冷技术由于功率密度低、系统复杂,无法满足车、船等交通工具上的使用要求。

[0003] 热声热机是基于一种新型的热功转换原理,可将外部热量转换成声功,然后利用声功产生制冷或泵热效应,前者称为热声发动机,后者称为热声制冷机或热声热泵。将热声发动机与热声制冷机联接在一起,可以组成热驱动热声制冷机。热驱动热声制冷机的热端和冷端均没有运动部件,可以实现长寿命和低维护。由于热声热机可以实现卡诺效率,其潜在热效率比较高。因此,热驱动热声制冷技术已经成为国内外研究的热点之一。据报道,传统型热驱动热声制冷已经可以实现液氢温区(20K)、液氮温区(80K)、液化天然气温区(110K)、室温温区(0℃),验证了技术的可行性。

[0004] 传统型热驱动热声制冷是利用驻波或行波热声发动机与脉管制冷机或热声制冷机来实现热到冷的转换过程。为了追求系统热效率,多采用行波热声发动机实现热到声功的转换。目前,行波热声发动机中的相位调节机构包括两种,一种是由一个行波环路和一根驻波谐振管组成,但用于调节相位的驻波谐振管和行波环路中的惯性管体积大、长度长,其中驻波谐振管直径达100mm以上,长度达5m以上;另一种是在一个行波环路中布置多个热声发动机核并通过细长管路来实现相位调节。这两种结构均不能满足交通工具有限的安装空间。

发明内容

[0005] 本发明实施例提供一种余热驱动制冷机,用以解决现有技术中热驱动热声制冷技术无法满足交通工具上的使用要求的问题。

[0006] 本发明实施例提供一种余热驱动制冷机,包括机壳、安装于所述机壳内部的直线电机和热冷转换单元、排气管余热获取单元和冷量输出单元;

[0007] 所述热冷转换单元包括排出器以及围绕于所述排出器并沿所述排出器的轴向顺次相连的热声发动机室温冷却器、热声发动机回热器、热声发动机高温换热器、热缓冲管、制冷机室温冷却器、制冷机回热器和冷头,所述排出器与固定于所述机壳的弹性件固定连接,所述弹性件用于为所述排出器提供往复力;

[0008] 所述直线电机包括作为动子的活塞,所述活塞与所述热声发动机室温冷却器和所述排出器相通;所述排气管余热获取单元连接所述热声发动机高温换热器和排气管而形成热交换回路;所述冷量输出单元与所述冷头相连而形成热交换回路。

[0009] 根据本发明一个实施例的余热驱动制冷机,所述弹性件安装于所述直线电机的背

腔,所述排出器通过连杆与所述弹性件固定连接,所述连杆活动穿设于所述活塞。

[0010] 根据本发明一个实施例的余热驱动制冷机,包括一一对应设置的多个所述直线电机和多个所述热冷转换单元,多个所述热冷转换单元靠近所述冷头的一端相互连接;

[0011] 所述排气管余热获取单元同时连接多个所述冷热转换单元的所述热声发动机高温换热器和排气管而形成热交换回路,所述冷量输出单元同时与多个冷热转换单元的所述冷头相连而形成热交换回路。

[0012] 根据本发明一个实施例的余热驱动制冷机,多个所述直线电机的活塞在同一平面上相对多个所述热冷转换单元相互连接的连接点呈中心对称分布,多个所述直线电机的活塞相对所述连接点同步运动。

[0013] 根据本发明一个实施例的余热驱动制冷机,包括多个所述直线电机,多个所述直线电机的所述活塞与同一所述热冷转换单元的所述热声发动机室温冷却器和所述排出器相联通。

[0014] 根据本发明一个实施例的余热驱动制冷机,多个所述直线电机的活塞在同一平面上相对所述热冷转换单元的排出器的中心轴呈中心对称分布,多个所述直线电机的活塞相对所述排出器的中心轴同步运动。

[0015] 根据本发明一个实施例的余热驱动制冷机,所述热声发动机室温冷却器、热声发动机回热器、热声发动机高温换热器、热缓冲管、制冷机室温冷却器、制冷机回热器和冷头构成的内壁与所述排出器之间,所述活塞与所述直线电机的缸体之间均采用间隙密封或干摩擦密封。

[0016] 根据本发明一个实施例的余热驱动制冷机,所述排气管余热获取单元包括尾气换热器和高温循环泵,所述尾气换热器、所述高温循环泵和所述热声发动机高温换热器依次相连构成排气管余热回收系统。

[0017] 根据本发明一个实施例的余热驱动制冷机,所述冷量输出单元包括空气换热器和低温循环泵,所述空气换热器、所述低温循环泵和所述冷头依次相连构成降温系统。

[0018] 根据本发明一个实施例的余热驱动制冷机,所述冷量输出单元还包括储冷罐,所述空气换热器与所述冷头的连通管路上设置有分流阀,所述分流阀的一个出口与所述空气换热器直接相连,另一出口通过所述储冷罐与所述空气换热器相连。

[0019] 本发明实施例提供的余热驱动制冷机,利用余热获取单元将排气管内的尾气的热量回收至热冷转换单元,通过热致声效应将回收的尾气热量转换成声功,以及通过声致冷效应消耗声功实现对冷量输出单元所在目标制冷空间的制冷。其中,通过排出器对系统相位进行调节,相比于传统的通过行波环路和驻波谐振管进行相位调节,实现较高的热效率的同时,结构紧凑,能够满足车、船等移动交通工具有限的安装空间,具有广阔的应用前景。

附图说明

[0020] 为了更清楚地说明本发明实施例中的技术方案,下面将对实施例描述中所需要使用的附图作一简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图是本发明的一些实施例,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的附图。

[0021] 图1为本发明实施例余热驱动制冷机的结构示意图;

[0022] 图2为本发明又一实施例余热驱动制冷机的结构示意图；

[0023] 图3为本发明再一实施例余热驱动制冷机的结构示意图。

[0024] 附图标记：

[0025] 1、机壳；11、膨胀腔；12、直线电机的背腔；21、活塞；211、永磁体；221、外定子；222、内定子；23、线圈；310、排出器；311、连杆；312、弹性件；32、热声发动机室温冷却器；33、热声发动机回热器；34、热声发动机高温换热器；35、热缓冲管；36、制冷机室温冷却器；37、制冷机回热器；38、冷头；4、排气管余热获取单元；41、尾气换热器；42、高温循环泵；5、冷量输出单元；51、空气换热器；52、低温循环泵；53、储冷罐；54、分流阀；6、连接点；7、三元催化器。

具体实施方式

[0026] 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。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] 下面结合图1-图3描述本发明实施例的余热驱动制冷机。

[0028] 如图1所示为本发明实施例余热驱动制冷机的结构示意图，该余热驱动制冷机用于安装在汽车或轮船等交通工具上。该余热驱动制冷机包括机壳1、安装于机壳1内部的直线电机和热冷转换单元、排气管余热获取单元4和冷量输出单元5。

[0029] 热冷转换单元包括排出器310以及围绕于排出器310并沿排出器310的轴向顺次相连的热声发动机室温冷却器32、热声发动机回热器33、热声发动机高温换热器34、热缓冲管35、制冷机室温冷却器36、制冷机回热器37和冷头38，排出器310与固定于机壳1的弹性件312固定连接，弹性件312用于为排出器310提供往复力。其中，热声发动机室温冷却器32、热声发动机回热器33和热声发动机高温换热器34构成热声驱动系统，制冷机室温冷却器36、制冷机回热器37和冷头38构成热声制冷系统。两者通过热缓冲管35联通。

[0030] 直线电机包括作为动子的活塞21，活塞21与热声发动机室温冷却器32和排出器310相联通。其中，如图1所示，活塞21上固定有永磁体211。直线电机还包括外定子221和内定子222，线圈23设置在外定子。内定子222作为活塞21在直线电机内往复运动的缸体。排出器310与活塞21之间的腔体为膨胀腔11，活塞21远离排出器310的一端与机壳1之间的腔体为直线电机的背腔12。

[0031] 排气管余热获取单元4连接热声发动机高温换热器34和排气管而形成热交换回路。冷量输出单元5与冷头38相连而形成热交换回路。若将本发明实施例提供的余热驱动制冷机应用于汽车，汽车尾气经排气管向外排放，排气管余热获取单元4与排气管连接，将汽车尾气排气管内的热量传递给热声发动机高温换热器34。冷量输出单元5用于连接冷头38和目标制冷空间如车内空间等。

[0032] 当热声发动机高温换热器34的温度达到临界温度值以上时，直线电机接通电源开始激励，最终使得整机启动工作。具体的，由活塞21的运动引起膨胀腔11的压力变化，从而给排出器310一个初始力，从而使排出器310在弹性件312的作用下开始往复运动，并与活塞21做简谐振动，从而对系统共振频率和声场相位进行调节。

[0033] 机壳1内的气体工质从热声发动机高温换热器34吸收热量，其中，一部分热量由气

体工质经过热声发动机室温冷却器32向外界放热,另一部分通过热声发动机回热器33转化为声功,并作用于热声制冷系统。本发明实施例的余热驱动制冷系统采用氦气、氩气、空气、氮气或它们的混合气体等环保气体工质。

[0034] 具体的,由于热致声效应,热声发动机回热器33在热声发动机室温冷却器32和热声发动机高温换热器34建立的温度梯度下,将热量转换成声功。该声功经热缓冲管35依次进入制冷机室温冷却器36、制冷机回热器37。又由于声致冷效应,制冷机回热器37消耗声功将热量从冷头38输运到制冷机室温冷却器36。冷量输出单元5不断将热量传递给冷头38,并由热冷转换单元中的发动机系统产生的声功消耗,从而实现目标制冷空间的制冷。

[0035] 从冷头38流出的声功经排出器310调相后反馈到活塞21前。当反馈的声功量足够多时,一部分声功进入热声发动机室温冷却器32,经历下一次热致声效应和声致冷效应,使得系统能持续工作下去。另一部分声功驱动活塞21运动,将声功转换成电能,产生的电能可用于驱动系统中的用电机构如循环泵等。当反馈的声功量不足时,利用电源驱动直线电机输入声功,维持冷头38的冷量基本稳定。

[0036] 本发明实施例提供的余热驱动制冷机,利用余热获取单元将排气管内的尾气的热量回收至热冷转换单元,通过热致声效应将回收的尾气热量转换成声功,以及通过声致冷效应消耗声功实现对冷量输出单元所在目标制冷空间的制冷。其中,通过排出器对系统相位进行调节,相比于传统的通过行波环路和驻波谐振管进行相位调节,实现较高的热效率的同时,结构紧凑,能够满足车、船等移动交通工具有限的安装空间,具有广阔的应用前景。

[0037] 其中,本发明实施例中的排出器310内部安装有辐射屏,以减少由于轴向温度差带来的热量或冷量损失。

[0038] 为了使本发明实施例提供的余热驱动制冷机的结构更加紧凑,本发明实施例中,弹性件312安装于直线电机的背腔12,排出器310通过连杆311与弹性件312固定连接,连杆311活动穿设于活塞21。其中,弹性件312为板簧或其他可提供稳定直线往复力的装置,本发明实施例不做具体限定。连杆311穿过活塞21的中心与板簧中心固定连接。连杆311与活塞21之间,活塞21与内定子222(即直线电机的缸体)之间采用间隙密封或干摩擦密封。

[0039] 为了满足更大功率的制冷需求,如图2所示为本发明又一实施例余热驱动制冷机的结构示意图。在上述实施例的基础上,本实施例的余热驱动制冷机包括安装在机壳1内的一一对应设置的多个直线电机和多个热冷转换单元,多个热冷转换单元靠近冷头38的一端相互连接。排气管余热获取单元4同时连接多个冷热转换单元的热声发动机高温换热器34和排气管而形成热交换回路。冷量输出单元5同时与多个冷热转换单元的冷头38相连而形成热交换回路。其中,本实施例将一个直线电机和其对应的一个热冷转换单元视为一个制冷单元。其中,每个制冷单元可单独位于一个机壳1内,也可以多个制冷单元位于同一机壳1内。

[0040] 多个直线电机的活塞21和多个排出器310在往复运动时会给该余热驱动制冷机带来较大振动。本发明实施例中的多个直线电机的活塞21在同一平面上以多个所述热冷转换单元相互连接的连接点6呈中心对称分布,多个所述直线电机的活塞21相对连接点6同步运动,则相应的,多个热冷转换单元内的排出器310在同一平面上以连接点呈中心对称分布,多个热冷转换单元内的排出器310相对所述连接点做同步运动。通过外部电路的控制使得多个直线电机的活塞21相对连接点做同步运动、多个热冷转换单元的排出器310也相对连

接点做同步运动。这样可使多个直线电机的活塞21在往复运动中的轴向振动相互抵消,多个热冷转换单元的排出器310在往复运动中的轴向振动相互抵消。从而消除由于活塞21和排出器310的运动而带来的振动。其中,该连接点指的是多个热冷转换单元靠近冷头38的一端相互连接的点。

[0041] 例如,该余热驱动制冷机包括三个直线电机和三个热冷转换单元时,三个直线电机的活塞21相对连接点6呈中心对称分布,即每相邻两个直线电机的活塞21的轴线呈 120° 夹角,那么相应的每相邻两个热冷转换单元内的排出器310的轴线也呈 120° 夹角。当三个活塞21同步运动且三个排出器310同步运动时,它们的轴向振动相互抵消。

[0042] 当制冷单元的数量均为偶数个时,可通过调整不同数量的制冷单元工作来调节制冷功率,满足不同功率的制冷需求。但需保证同时运行的制冷单元的活塞和排出器仍然是以连接点呈中心对称分布,以保证同时运行的制冷单元的轴向振动能够相互抵消。例如,包括四个制冷单元时,可选择轴向相对设置的一对制冷单元工作,或者四个制冷单元均同时工作。

[0043] 图2中所示的是具有两个直线电机和两个热冷转换单元的情况,即只有两个制冷单元的情况。每个制冷单元中的活塞21与排出器310同轴设置。两个制冷单元的一端相互对置,通过外部电路的控制使得两个制冷单元的运动部件能相对运动,即两个直线电机的驱动方向相反,两个热冷转换单元内的排出器运动方向相反,从而使两个制冷单元的轴向振动相互抵消。本发明实施例中,将两个热冷转换单元的一端相互对置,即具有冷头38的那一段相互靠近,使冷量输出单元5与冷头38的连接更加紧凑。

[0044] 为了提高本发明实施例余热驱动制冷机的功率密度,如图3所示为本发明再一实施例余热驱动制冷机的结构示意图,本发明实施例采用多个直线电机与同一个热冷转换单元连接。即包括多个所述直线电机,多个直线电机的活塞21与同一热冷转换单元的热声发动机室温冷却器32和排出器310相联通。通过两台电机同时驱动一个热冷转换单元,不仅提高了系统的功率密度,同时还大幅提高了余热驱动制冷机的结构紧凑性。

[0045] 进一步的,为了减小多个直线电机在往复运动时给该余热驱动制冷机带来的振动。本发明实施例中的多个直线电机的活塞在同一平面上相对热冷转换单元的排出器的中心轴呈中心对称分布,多个所述直线电机的活塞相对排出器的中心轴做同步运动。通过外部电路的控制使得多个直线电机的活塞21相对连接点做同步运动,从而使多个直线电机的活塞21在往复运动中的轴向振动相互抵消。

[0046] 例如,该余热驱动制冷机包括三个直线电机时,三个直线电机的活塞21相对连接点6呈中心对称分布,即每相邻两个直线电机的活塞21的轴线呈 120° 夹角。当三个活塞21同步运动时,它们的轴向振动相互抵消。

[0047] 图3中所示的是具有两个直线电机和一个热冷转换单元的情况,两个直线电机与一个热冷转换单元形成T字型结构,即两个直线电机的活塞21的轴线与热冷转换单元的排出器的轴线垂直,且两个直线电机的活塞21同时与热声发动机室温冷却器32和排出器310相联通。通过外部电路的控制使得两个直线电机的活塞21做相对运动,即两个直线电机的驱动方向相反,从而使两个直线电机的轴向振动相互抵消。

[0048] 本发明实施例中,热声发动机室温冷却器32、热声发动机回热器33、热声发动机高温换热器34、热缓冲管35、制冷机室温冷却器36、制冷机回热器37和冷头38构成的内壁与排

出器310之间,活塞21与直线电机的缸体之间均采用间隙密封或干摩擦密封。

[0049] 如图1-3所示,本发明实施例中,排气管余热获取单元4包括尾气换热器41和高温循环泵42,尾气换热器41、高温循环泵42和热声发动机高温换热器34依次相连构成排气管余热回收系统。图中箭头方向为尾气排放方向。其中,尾气换热器41安装于尾气排气管中,尾气经排气管向外排放,经过尾气换热器41时,将热量传递给导热介质,并通过高温循环泵42驱动导热介质(油、液态金属、熔融盐等)循环,以不断将尾气换热器41里的热量输送到热声发动机高温换热器34。为了获得较高的温度,如图1-3所示,将尾气换热器41放置在排气管内的三元催化器7的前端,使尾气先经过尾气换热器41再经三元催化器7排出。

[0050] 本发明实施例中,冷量输出单元5包括空气换热器51和低温循环泵52,空气换热器51、低温循环泵52和冷头38依次相连构成降温系统。通过低温循环泵52驱动导热介质循环,将冷头38产生的制冷量输运至空气换热器51,空气换热器51置于目标制冷空间内,并与流经空气换热器51的空气进行热交换,从而给目标制冷空间降温。

[0051] 如图1-3所示,本发明实施例中,冷量输出单元5还包括储冷罐53,空气换热器51与冷头38的连通管路上设置有分流阀54,分流阀54的一个出口与空气换热器51直接相连,另一出口通过储冷罐53与空气换热器51相连。储冷罐53用于储存多余冷量,需要时可通过调节分流阀54来调节使用的冷量和存储冷量的比例,可减少目标制冷空间的温度波动,从而提高本发明实施例余热驱动制冷机的经济性和实用性。

[0052] 最后应说明的是:以上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精神和范围。

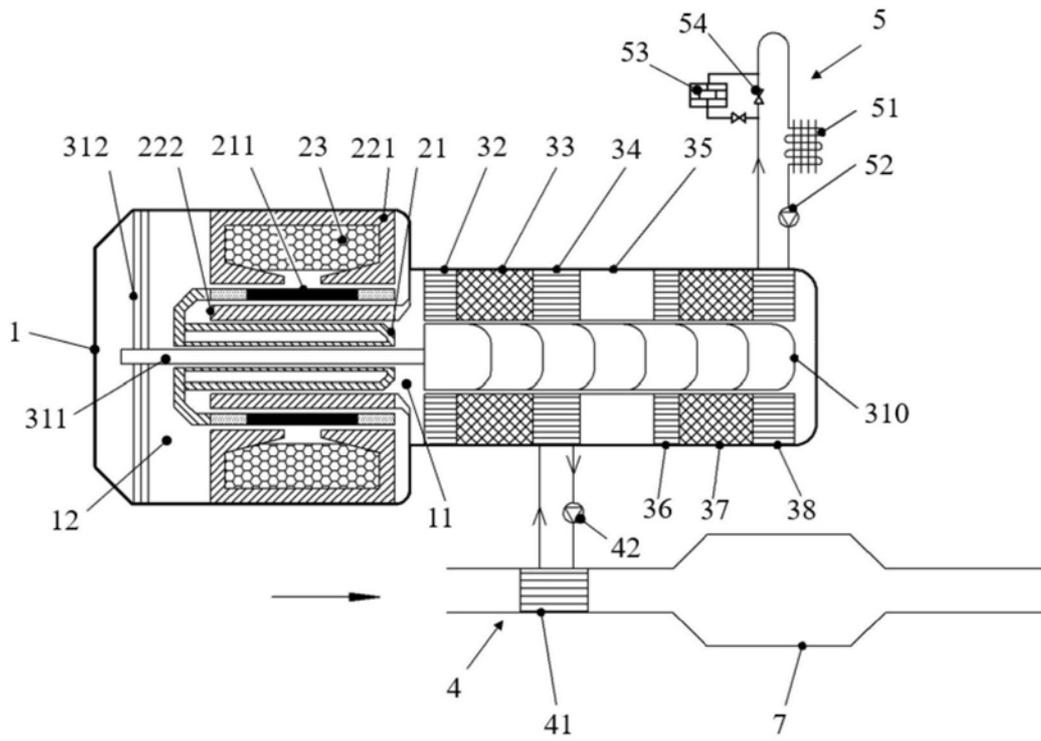


图1

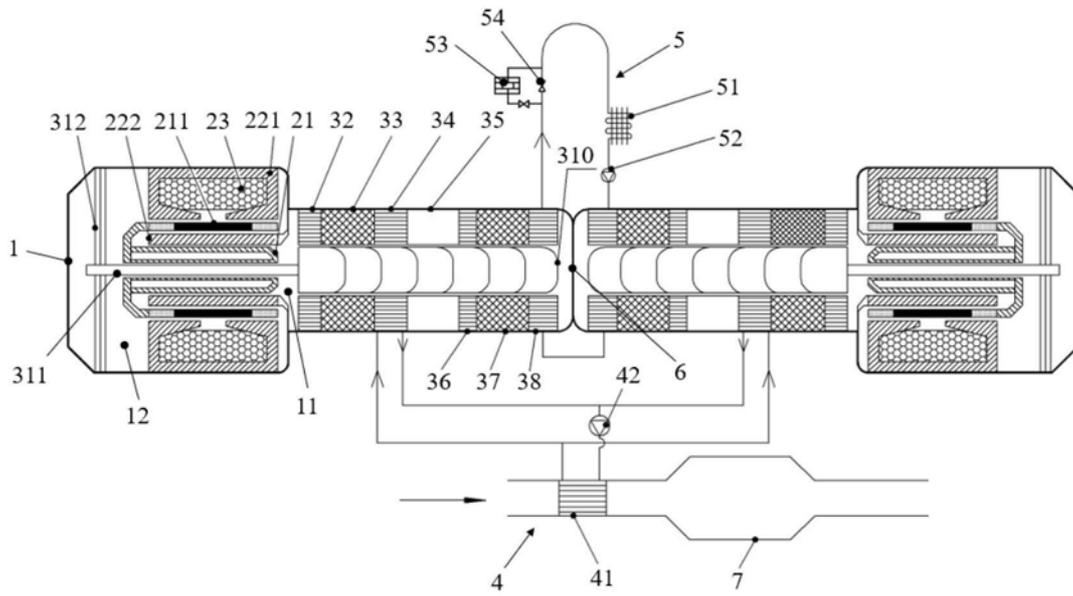


图2

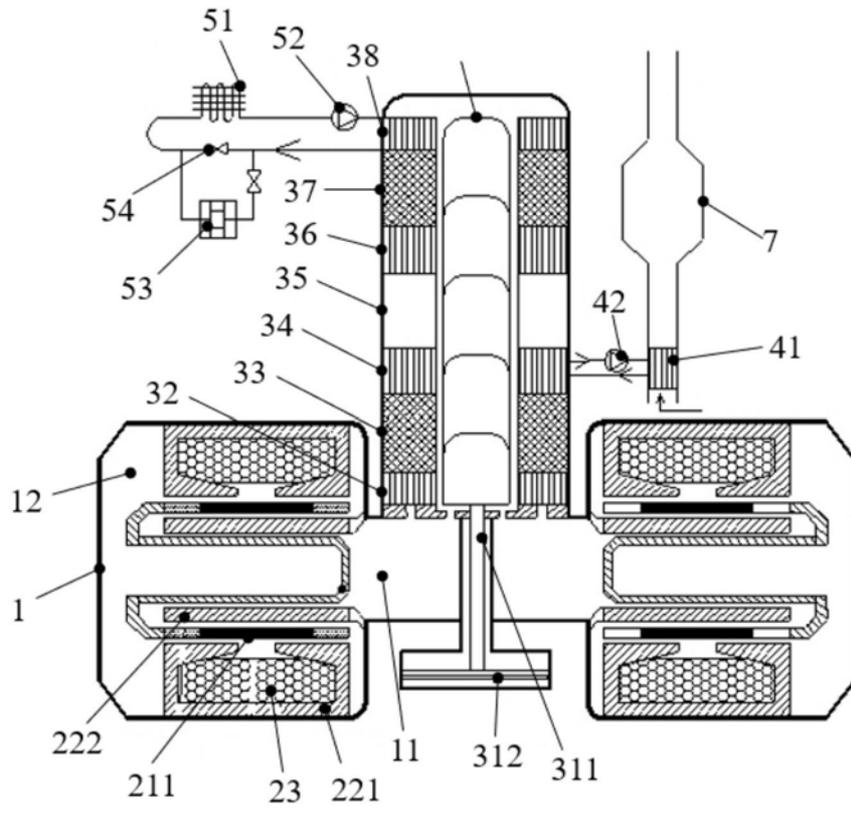


图3