



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107940790 A

(43)申请公布日 2018.04.20

(21)申请号 201711346463.3

(22)申请日 2017.12.15

(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 王晓涛 戴巍 庞晓敏 罗二仓
王亚男

(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 王莹 吴欢燕

(51)Int.Cl.
F25B 9/14(2006.01)
F25B 9/02(2006.01)
F25B 9/10(2006.01)

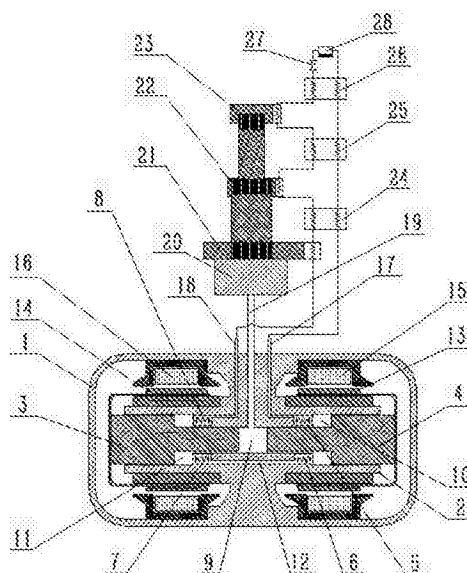
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

一种混合循环低温制冷机

(57)摘要

本发明涉及低温制冷技术领域,具体涉及了一种混合循环低温制冷机,包括气体压缩单元和与第一吸气阀气体压缩单元连接的第一制冷单元,第一吸气阀第一制冷单元上并联设置有第二制冷单元。本发明利用斯特林制冷机或者斯特林型脉冲管制冷机预冷JT节流制冷机,采用单一无油的直线压缩机产生周期往复的压力波动,结合单向阀产出高低压气体。其中周期往复的压力波动用来驱动多级斯特林制冷机;采用单一压缩机同时产生周期性交变流动及高低压驱动的单向流动,利用斯特林循环在液氢以上温区效率高、功率密度高的优势,发挥氦气节流制冷机在液氢温区效率高、冷量大、可靠性高、无运动部件,形成一种液氢温区下运行的高效紧凑无运动部件低温制冷机。



CN 107940790 A

1. 一种混合循环低温制冷机,其特征在于,包括气体压缩单元和与所述气体压缩单元连接的第一制冷单元,所述第一制冷单元上并联设置有第二制冷单元;所述第一制冷单元包括多级冷头,所述第二制冷单元包括多级换热器,所述冷头与所述换热器间隔设置。

2. 根据权利要求1所述的混合循环低温制冷机,其特征在于,所述气体压缩单元为气体压缩机,所述气体压缩机包括压缩机壳体(1)和设置在所述压缩机壳体(1)内部的压缩机气缸(2),所述压缩机气缸(2)的内壁呈阶梯状。

3. 根据权利要求2所述的混合循环低温制冷机,其特征在于,所述压缩机气缸(2)中间部分的内径尺寸大于所述压缩机气缸(2)两端部分的内径尺寸。

4. 根据权利要求3所述的混合循环低温制冷机,其特征在于,所述气体压缩机还包括第一压缩机动子活塞(3)和第二压缩机动子活塞(4),所述第一压缩机动子活塞(3)和所述第二压缩机动子活塞(4)均为与所述压缩机气缸(2)内壁形状相适配的阶梯状活塞,所述第一压缩机动子活塞(3)与所述第二压缩机动子活塞(4)分别与所述压缩机气缸(2)的两端相配合。

5. 根据权利要求2所述的混合循环低温制冷机,其特征在于,所述压缩机壳体(1)与所述压缩机气缸(2)之间设置有线圈和动子磁铁,所述线圈设置在所述压缩机壳体(1)内侧,所述动子磁铁设置在所述压缩机气缸(2)外侧,所述线圈与所述动子磁铁相对设置。

6. 根据权利要求4所述的混合循环低温制冷机,其特征在于,所述第一制冷单元包括依次连接的室温端换热器(21)、第一级冷头(22)和第二级冷头(23),所述室温端换热器(21)与所述第一压缩机动子活塞(3)、所述第二压缩机动子活塞(4)和所述压缩机气缸(2)所形成的压缩腔(9)相连通。

7. 根据权利要求6所述的混合循环低温制冷机,其特征在于,所述室温端换热器(21)与所述气体压缩单元之间设置有调相组件(20),所述调相组件(20)连接在所述室温端换热器(21)上远离所述第一级冷头(22)、第二级冷头(23)的一端。

8. 根据权利要求6所述的混合循环低温制冷机,其特征在于,所述第二制冷单元包括依次连接的节流阀(27)、冷端换热器(28)和多级回热换热器,所述回热换热器与所述第二压缩机动子活塞(4)、所述压缩机气缸(2)所形成的第一直流腔体(10)相连通,所述节流阀(27)与所述第一压缩机动子活塞(3)、所述压缩机气缸(2)所形成的第二直流腔体(11)相连通;所述第一直流腔体(10)和所述第二直流腔体(11)内均设置有阀体。

9. 根据权利要求8所述的混合循环低温制冷机,其特征在于,所述阀体包括第一吸气阀(5)、第一排气阀(6)、第二吸气阀(7)和第二排气阀(8),所述第一吸气阀(5)和所述第一排气阀(6)位于所述第一直流腔体(10)内,所述第二吸气阀(7)和所述第二排气阀(8)位于所述第二直流腔体(11)内;所述第一直流腔体(10)和所述第二直流腔体(11)通过直流管路(12)连通。

10. 根据权利要求8所述的混合循环低温制冷机,其特征在于,所述阀体包括阀片(29)和支撑弹簧(30),所述阀片(29)通过所述支撑弹簧(30)固定在所述压缩机气缸(2)上。

一种混合循环低温制冷机

技术领域

[0001] 本发明涉及低温制冷技术领域,尤其涉及一种混合循环低温制冷机。

背景技术

[0002] 目前,工作于液氦温区的低温制冷机在超导电子、低温物理、外太空探测、量子通信等领域中具有广泛的应用需求,尤其对于超导材料,其工作温区普遍位于液氦温区,高效可靠低温制冷机的发展对促进科学进步、相关行业发展具有重要的意义。目前在此温区,使用比较广泛的技术包括GM制冷机及GM型脉冲管制冷机。

[0003] GM制冷机和GM型脉冲管制冷机,其采用油压缩机压缩氦气,存储在高压腔体中,而吸气侧低压气体储存于低压腔体中;高低压腔体通过油过滤器与旋转阀连接,旋转阀周期性运动,在高压气体与低压气体通道中切换,产生压缩与膨胀效应,驱动回热式低温制冷机,其运行周期约为1Hz。在回热式低温制冷机中,依靠压缩膨胀及排出器(或者脉冲管制冷机中的调相机构)的调相,产生制冷机效应,最低温能够达到2K。尤其其成本低、效率相对较高,在液氦温区获得了广泛应用。

[0004] 对于GM制冷机,由于其高低压切换采用旋转阀结构,气体流经时会产生较大的压降损失,引起难以避免的不可逆损失,能量转换效率难以进一步提高;其利用油压缩机产生高低压气体,需要配备油分离器等设备,系统体积庞大,并需要定期进行维护,寿命难以保证;其采用排出器调相,在冷头部分造成较大振动,限制了其应用场合。GM型脉冲管制冷机在制冷机侧采用脉冲管加调相机构来代替排出器,冷端无运动部件,能够有效减小冷端振动,然而由于调相能力的下降,其热效率\低于GM制冷机。

[0005] 直线压缩机驱动的多级斯特林制冷机或者多级脉冲管制冷机,利用无油直线活塞的往复运动,压缩及膨胀系统内的氦气,形成周期性的压力波动,同时利用低温下运行的排出器调节整机声场分布,在回热器内产生制冷效应,其本质为可逆的斯特林循环,具有较高的理论效率。然而由于其运行频率高,低温下回热器中换热及流动损失大,虽然能够在液氦以上温区获得较高效率,但其工作温区难以进一步下降。斯特林型脉冲管制冷机运行原理及基本架构与斯特林制冷机类似,与斯特林制冷机相比,去除了排出器结构,采用脉冲管结构隔离冷端与室温环境,在脉冲管的热端利用了阻力元件来调整回热器内声学阻抗分布,使得制冷机在冷端无运动部件,带来了结构简单、振动小、可靠性高、寿命长、成本低等优点。

[0006] 焦汤节流制冷机(JT制冷机)利用流体的节流效应产生制冷效应,其利用压缩机将气体压缩,在冷凝器中散热,冷却后节流减压至低温,在蒸发器中吸收热量,产生制冷量蒸发后进入压缩机,形成一个闭式循环。其优点在于利用潜热换热,制冷量大,换热效率高,并且冷端无运动部件,降温速率快。但缺点是受工质物性限制,工作温区有限。在液氦温区附近,除氦气以外,气体气体均为液态甚至固态。然而氦气节流效应转变温度在30K以下,只能预冷至此温区以下才能获得制冷效应。

发明内容

[0007] (一) 要解决的技术问题

[0008] 本发明的目的在于提供一种混合循环低温制冷机,旨在解决现有技术中的制冷系统体积庞大、结构复杂、可靠性低及制冷效率低的问题。

[0009] (二) 技术方案

[0010] 为了解决上述技术问题,本发明提供了一种混合循环低温制冷机,包括气体压缩单元和与所述气体压缩单元连接的第一制冷单元,所述第一制冷单元上并联设置有第二制冷单元;所述第一制冷单元包括多级冷头,所述第二制冷单元包括多级换热器,所述冷头与所述换热器间隔设置。

[0011] 其中,所述气体压缩单元为气体压缩机,所述气体压缩机包括压缩机壳体和设置在所述压缩机壳体内部的压缩机气缸,所述压缩机气缸的内壁呈阶梯状。

[0012] 其中,所述压缩机气缸中间部分的内径尺寸大于所述压缩机气缸两端部分的内径尺寸。

[0013] 其中,所述气体压缩机还包括第一压缩机动子活塞和第二压缩机动子活塞,所述第一压缩机动子活塞和所述第二压缩机动子活塞均为与所述压缩机气缸内壁形状相适配的阶梯状活塞,所述第一压缩机动子活塞与所述第二压缩机动子活塞分别与所述压缩机气缸的两端相配合。

[0014] 其中,所述压缩机壳体与所述压缩机气缸之间设置有线圈和动子磁铁,所述线圈设置在所述压缩机壳体内侧,所述动子磁铁设置在所述压缩机气缸外侧,所述线圈与所述动子磁铁相对设置。

[0015] 其中,所述第一制冷单元包括依次连接的室温端换热器、第一级冷头和第二级冷头,所述室温端换热器与所述第一压缩机动子活塞、所述第二压缩机动子活塞和所述压缩机气缸所形成的压缩腔相连通。

[0016] 其中,所述室温端换热器与所述气体压缩单元之间设置有调相组件,所述调相组件连接在所述室温端换热器上远离所述第一级冷头、第二级冷头的一端。

[0017] 其中,所述第二制冷单元包括依次连接的节流阀、冷端换热器和多级回热换热器,所述回热换热器与所述第二压缩机动子活塞、所述压缩机气缸所形成的第一直流腔体相连通,所述节流阀与所述第一压缩机动子活塞、所述压缩机气缸所形成的第二直流腔体相连通;所述第一直流腔体和所述第二直流腔体内均设置有阀体。

[0018] 其中,所述阀体包括第一吸气阀、第一排气阀、第二吸气阀和第二排气阀,所述第一吸气阀和所述第一排气阀位于所述第一直流腔体内,所述第二吸气阀和所述第二排气阀位于所述第二直流腔体内;所述第一直流腔体和所述第二直流腔体通过直流管路连通。

[0019] 其中,所述阀体包括阀片和支撑弹簧,所述阀片通过所述支撑弹簧固定在所述压缩机气缸上。

[0020] (三) 有益效果

[0021] 与现有技术相比,本发明的上述技术方案具有以下有益效果:本发明提供了一种混合循环低温制冷机,通过将第一制冷单元、第二制冷单元集成在一起,使得本发明中的制冷系统体积减小,可靠性高,制冷效率大大提高。

[0022] 本发明利用斯特林制冷机或者斯特林型脉冲管制冷机预冷JT节流制冷机,采用单一无油的直线压缩机产生周期往复的压力波动,同时结合单向阀产出高低压气体。其中周期往复的压力波动用来驱动多级斯特林制冷机,其工作温区位于液氢温区,预冷高压氦气,而高低压气体用于驱动JT节流制冷机,在氦气温区产生制冷量;其优势在于采用单一压缩机同时产生周期性交变流动及高低压驱动的单向流动,充分利用斯特林循环在液氢以上温区效率高、功率密度高的优势,同时发挥氦气节流制冷机在液氢温区效率高、冷量大、可靠性高、无运动部件的优点,形成一种液氢温区下运行的高效紧凑无运动部件低温制冷机。

附图说明

[0023] 图1为本发明实施例的混合循环低温制冷机的侧剖视图;

[0024] 图2为图1所示第二吸气阀的结构示意图;

[0025] 图3为图1所示第二排气阀的结构示意图;

[0026] 其中,1-压缩机壳体;2-压缩机气缸;3-第一压缩机动子活塞;4-第二压缩机动子活塞;5-第一吸气阀;6-第一排气阀;7-第二吸气阀;8-第二排气阀;9-压缩腔;10-第一直流腔体;11-第二直流腔体;12-直流管路;13-第一动子磁铁;14-第二动子磁铁;15-第一线圈;16-第二线圈;17-吸气管;18-排气管;19-连接管;20-调相组件;21-室温端换热器;22-第一级冷头;23-第二级冷头;24-第一级回热换热器;25-第二级回热换热器;26-第三级回热换热器;27-节流阀;28-冷端换热器;29-阀片;30-支撑弹簧;31-阀体腔。

具体实施方式

[0027] 下面结合附图和实施例对本发明的实施方式作进一步详细描述。以下实施例用于说明本发明,但不能用来限制本发明的范围。

[0028] 在本发明的描述中,除非另有说明,“多个”的含义是两个或两个以上;除非另有说明,“缺口状”的含义为除截面平齐外的形状。术语“上”、“下”、“左”、“右”、“内”、“外”、“前端”、“后端”、“头部”、“尾部”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,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”、“第三”等仅用于描述目的,而不能理解为指示或暗示相对重要性。

[0029] 在本发明的描述中,需要说明的是,除非另有明确的规定和限定,术语“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。对于本领域的普通技术人员而言,可以视具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。

[0030] 参见图1至图3所述,本发明提供了一种混合循环低温制冷机,包括气体压缩单元和与气体压缩单元连接的第一制冷单元,第一制冷单元上并联设置有第二制冷单元;第一制冷单元包括多级冷头,第二制冷单元包括多级换热器,冷头与换热器间隔设置。

[0031] 本发明提供的一种混合循环低温制冷机,通过将第一制冷单元、第二制冷单元集成在一起,使得本发明中的制冷系统体积减小,可靠性高,制冷效率大大提高。

[0032] 进一步的,气体压缩单元为气体压缩机,气体压缩机包括压缩机壳体1和设置在压缩机壳体1内部的压缩机气缸2,压缩机气缸2的内壁呈阶梯状。

[0033] 进一步的,压缩机气缸2中间部分的内径尺寸大于压缩机气缸2两端部分的内径尺寸。

[0034] 进一步的,气体压缩机还包括第一压缩机动子活塞3和第二压缩机动子活塞4,第一压缩机动子活塞3和第二压缩机动子活塞4均为与压缩机气缸2内壁形状相适配的阶梯状活塞,第一压缩机动子活塞3与第二压缩机动子活塞4分别与压缩机气缸2的两端相配合。

[0035] 进一步的,压缩机壳体1与压缩机气缸2之间设置有线圈和动子磁铁,线圈设置在压缩机壳体1内侧,动子磁铁设置在压缩机气缸2外侧,线圈与动子磁铁相对设置。

[0036] 进一步的,第一制冷单元包括依次连接的室温端换热器21、第一级冷头22和第二级冷头23,室温端换热器21与第一压缩机动子活塞3、第二压缩机动子活塞4和压缩机气缸2所形成的压缩腔9相连通。

[0037] 进一步的,室温端换热器21与气体压缩单元之间设置有调相组件20,调相组件20连接在室温端换热器21上远离第一级冷头22、第二级冷头23的一端。

[0038] 进一步的,第二制冷单元包括依次连接的节流阀27、冷端换热器28和多级回热换热器,回热换热器与第二压缩机动子活塞4、压缩机气缸2所形成的第一直流腔体10相连通,节流阀27与第一压缩机动子活塞3、压缩机气缸2所形成的第二直流腔体11相连通;第一直流腔体10和第二直流腔体11内均设置有阀体。阀体的主要作用是将交变往复运动转换为单向直流运动,其结构原理图如图2、3所示,由阀片29和支撑弹簧30组成,支撑弹簧30一端连在压缩机气缸2内壁上,另外一端与阀片29相连接;作为吸气阀时,阀片29位于阀体腔31内侧,在弹簧力的作用下与阀体腔31内壁紧密贴合;作为排气阀时,阀片29位于阀体腔31外部,在弹簧力的作用下与阀体腔31外部壁面紧密贴合。

[0039] 进一步的,阀体包括第一吸气阀5、第一排气阀6、第二吸气阀7和第二排气阀8,第一吸气阀5和第一排气阀6位于第一直流腔体10内,第二吸气阀7和第二排气阀8位于第二直流腔体11内;第一直流腔体10和第二直流腔体11通过直流管路12连通。

[0040] 进一步的,阀体包括阀片29和支撑弹簧30,阀片29通过支撑弹簧30固定在压缩机气缸2上。

[0041] 本发明提供的一种混合循环低温制冷机,工作时,系统内充有具有一定压力的氦气,第一线圈15、第二线圈16的两端依靠具有一定频率的交流电驱动,产生交变磁场,第一动子磁铁13、第二动子磁铁14在交变磁场的作用下分别带动第一压缩机动子活塞3、第二压缩机动子活塞4作直线往复运动,通过活塞中心侧端面作用,在压缩腔9内形成周期性压力波动,即周期性压缩-膨胀;压力波动通过连接管19由压缩腔9进入斯特林或者脉冲管制冷机组件中,在调相组件20的作用下,在第一级冷头22、第二级冷头23处产生制冷量,其中第一级冷头22工作温区约为100-50K,第二级冷头23位于20-10K温区。

[0042] 图1中右侧压缩机气缸2与第二压缩机动子活塞4的阶梯侧共同构成了第一直流腔体10,第二压缩机动子活塞4处于平衡位置时,第一吸气阀5与第一排气阀6的阀片29均处于闭合状态,第二压缩机动子活塞4逐步向右运动,第一直流腔体10体积膨胀,当第二压缩机动子活塞4接近到达最右端时,压力到达最低值,第一吸气阀5的阀片29在两侧压差的作用下克服弹簧力打开,吸入节流制冷机的气体,进入一级直流腔体8;第二压缩机动子活塞4到达最右端时,活塞进一步向左运动,开始压缩气体,此时压力逐渐升高,第一吸气阀5的阀片在压力和弹簧力作用下关闭;第一吸气阀5和第一排气阀6的阀片29处于关闭状态,当第二

压缩机动子活塞4接近最左端时,压力被压缩至接近最大值,此时第一排气阀6的阀片29在压差作用下打开,压缩后的高压气体进入连接管12之中;第二压缩机动子活塞4到达最左端时,向右继续运动,6的阀片29关闭,气体膨胀后的压力降低,重复膨胀-吸气-压缩-排气-膨胀的循环。

[0043] 第二直流腔体11的工作原理与一级相类似,在第一直流腔体10的基础上进一步提高压力。图1中左侧压缩机气缸2与第一压缩机动子活塞3的阶梯侧共同构成了第二直流腔体11,第一压缩机动子活塞3处于平衡位置时,第二吸气阀7与第二排气阀8的阀片29均处于闭合状态,动子活塞逐步向左运动,第二直流腔体11体积膨胀,当第一压缩机动子活塞3接近到达最左端时,压力到达最低值,第二吸气阀7的阀片29在两侧压差的作用下克服弹簧力打开,通过连接管9吸入一级压缩后的气体,进入第二直流腔体11;第一压缩机动子活塞3到达最左端时,活塞进一步向右运动,开始压缩气体,此时压力逐渐升高,二级吸气阀13的阀片29在压力和弹簧力作用下关闭;第二吸气阀7与第二排气阀8的阀片29处于关闭状态,当第一压缩机动子活塞3接近最右端时,压力被压缩至接近最大值,此时第二排气阀8的阀片29在压差作用下打开,压缩后的高压气体通过排气管18进入到第一制冷单元中;第一压缩机动子活塞3到达最右端时,向左继续膨胀,第一排气阀6的阀片29关闭,压力进一步降低,重复膨胀-吸气-压缩-排气-膨胀的循环。

[0044] 经过两级压缩后的气体进入节流制冷机之中,依次进行下列循环过程:首先进入室温端换热器21侧,向室温散发热量,之后进入第一级回热换热器24之中,与返回的低压气体进行回热交换;之后气体进入斯特林或者脉冲管制冷机的第一级冷头22,被冷却至100-50K温区;此后进入第二级回热换热器25,与返回的低压气体进一步进行热量交换;气体在斯特林或者脉冲管制冷机的第二级冷头23处被进一步降低到20-10K温区;在第三级回热换热器26之中与返回的低压低温气体进行热量交换;被冷却后的高压气体进入节流阀27之后,进行等焓降压过程,温度下降产生制冷效应,达到或者接近达到液氢温区;节流后的低温低压气体或者液体进入冷端换热器28之中,吸收被冷却器的热量,节流后的液体被加热后产生的气体进入第三级回热换热器26与高压气体进行回热;此后依次通过第二级回热换热器25和第一级回热换热器24,直至被吸气管17连接至第一吸气阀5,构成完整热力学循环。

[0045] 本发明提供了一种混合循环低温制冷机,具有如下优点:1、采用阶梯活塞型式的压缩机活塞阶梯结构,采用单台压缩机同时产生交变流动及高低压气体,能够有效减小系统体积重量;2、利用斯特林制冷机或者斯特林型脉冲管制冷机预冷JT节流制冷机,充分利用斯特林循环在液氢以上温区效率高、功率密度高的优势,同时发挥氢气节流制冷机在液氢温区效率高、冷量大、可靠性高、无运动部件的优点,形成一种液氢温区下运行的高效紧凑无运动部件低温制冷机;3、在液氢以上温区采用斯特林或者脉冲管制冷机制冷,充分利用斯特林循环在液氢以上温区效率高、功率密度高的优势;4、单台压缩机结合单向阀同时产生交变流动及高低压气体;5、系统采用了两级压缩。

[0046] 本发明的实施例是为了示例和描述起见而给出的,而并不是无遗漏的或者将本发明限于所公开的形式。很多修改和变化对于本领域的普通技术人员而言是显而易见的。选择和描述实施例是为了更好说明本发明的原理和实际应用,并且使本领域的普通技术人员能够理解本发明从而设计适于特定用途的带有各种修改的各种实施例。

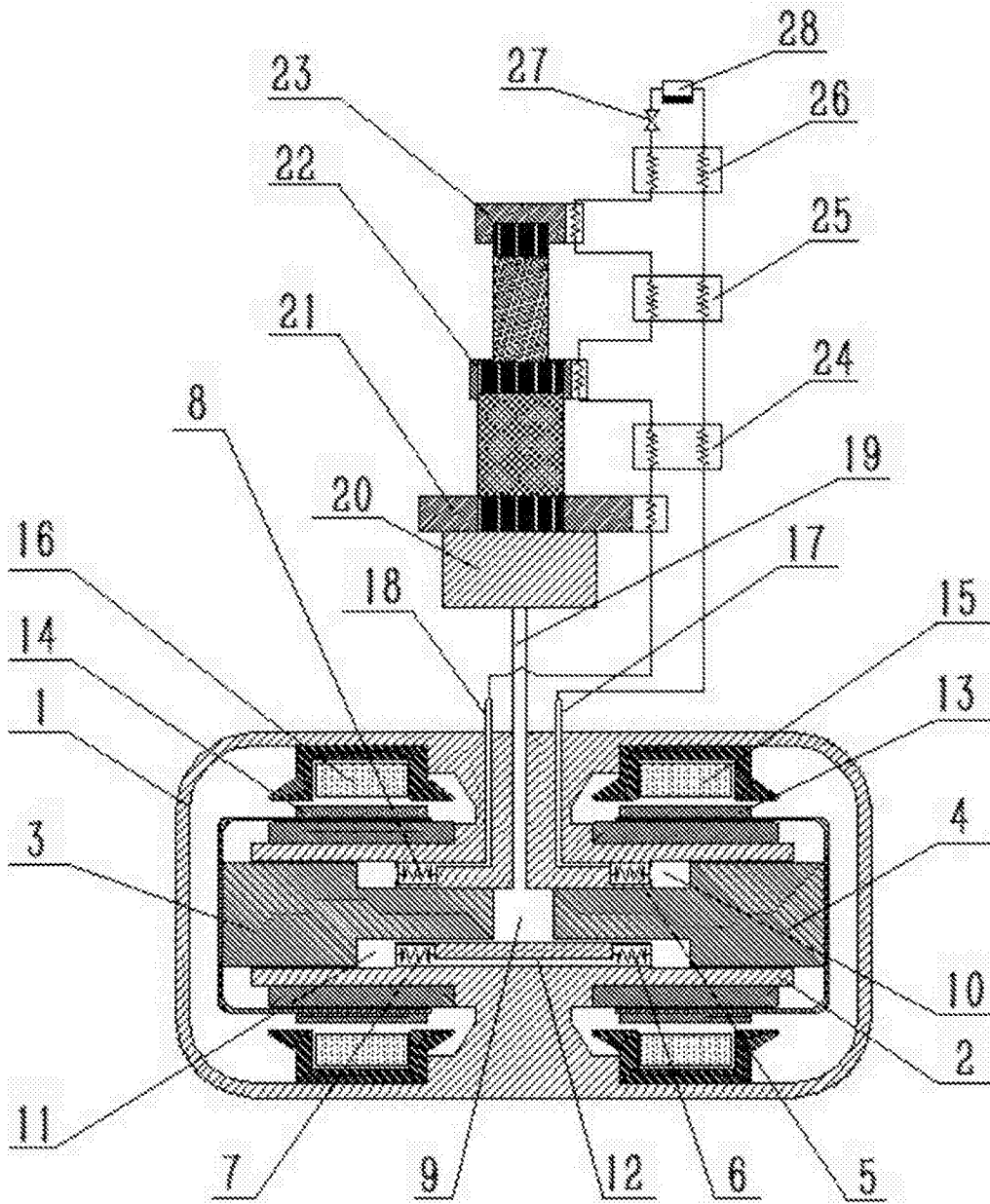


图1

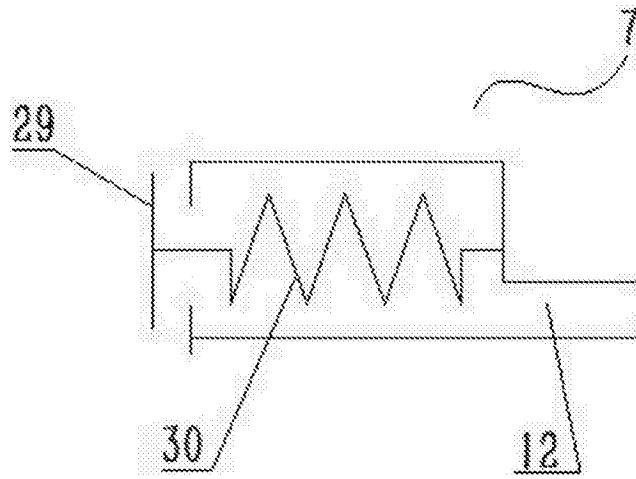


图2

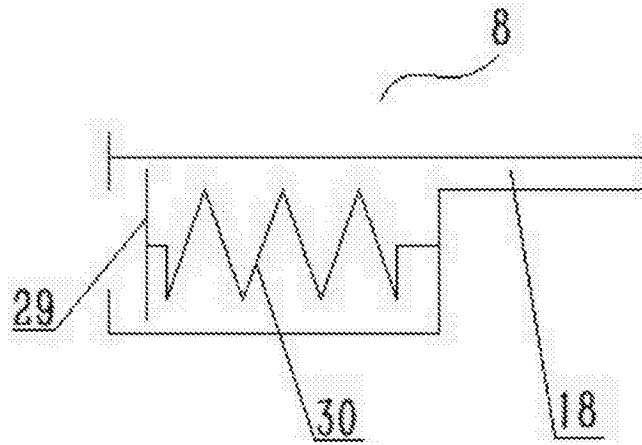


图3