



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112127993 A

(43) 申请公布日 2020.12.25

(21) 申请号 202010819766.8

(22) 申请日 2020.08.14

(71) 申请人 上海柯来浦能源科技有限公司
地址 200233 上海市徐汇区田林路142号3
幢四层406室

(72) 发明人 贾鹏

(51) Int. Cl.
F02B 43/12 (2006.01)
F02M 21/02 (2006.01)
C01B 13/02 (2006.01)
C01B 3/06 (2006.01)

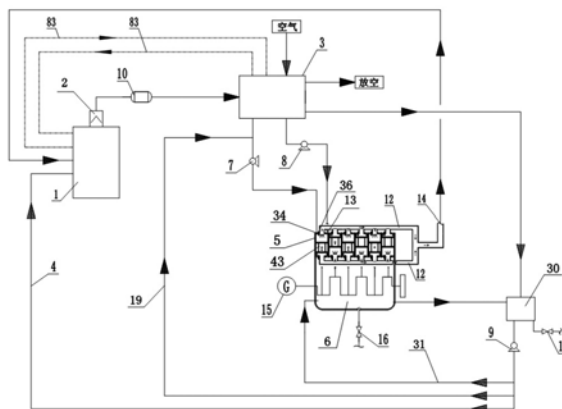
权利要求书4页 说明书13页 附图6页

(54) 发明名称

一种液氢液氧直喷活塞式内燃动力系统

(57) 摘要

本申请适用于新能源发动机技术领域,提供了一种液氢液氧直喷活塞式内燃动力系统,包括:氢燃料发动机、氢化镁储罐、柯来浦单元、循环水箱、液氧加压泵、液氢加压泵、水输送泵和低压氢气缓冲罐。本申请实施例提供的液氢液氧直喷活塞式内燃动力系统,与柯来浦单元结合,充分利用发动机尾气余热,彻底解决了发动机尾气排放问题,提高了发动机的热效率,使发动机尾气达到零排放。使用液氧与液氢燃烧,温度高、压力大且能量密度高,功率大但体积小,主要用于飞行设备,也可以用于地面移动设备,还可以用于各类交通工具。既可以用于发电,也可以用于动力输出。



1. 一种液氢液氧直喷活塞式内燃动力系统,其特征在于,包括:

氢燃料发动机、氢化镁储罐(1)、柯来浦单元(3)、循环水箱(30)、液氧加压泵(7)、液氢加压泵(8)、水输送泵(9)和低压氢气缓冲罐(10);

所述氢化镁储罐(1)的氢气出口设有氢气过滤膜(2),所述循环水箱(30)和所述氢燃料发动机的水底壳(6)均设有排水口(16);

所述氢化镁储罐(1)的氢气出口与所述低压氢气缓冲罐(10)连接,所述低压氢气缓冲罐(10)的出口连接到所述柯来浦单元(3);所述柯来浦单元(3)用于利用所述氢化镁储罐(1)排出的氢气制备液氢,以及用于利用空气制备液氧;

所述柯来浦单元(3)的第一出口通过所述液氧加压泵(7)与所述氢燃料发动机的液氧喷嘴(34)连接;所述柯来浦单元(3)的第二出口通过所述液氢加压泵(8)与所述氢燃料发动机的液氢喷嘴(13)连接;所述柯来浦单元(3)的第三出口与所述循环水箱(30)连接;所述柯来浦单元(3)的第一进口与所述氢燃料发动机的尾气出口(14)连接;所述柯来浦单元(3)上还设有第二进口和第四出口,所述柯来浦单元(3)的第二进口为空气进口,所述柯来浦单元(3)的第四出口为废气放空口;

所述循环水箱(30)的出口通过所述水输送泵(9)分为三路,第一路与所述氢燃料发动机的水底壳(6)循环连接,第二路通过尾气冷凝水循环管路(19)与所述液氧加压泵(7)的进口连接,第三路通过氢化镁储罐补水管线(4)与所述氢化镁储罐(1)连接。

2. 如权利要求1所述的液氢液氧直喷活塞式内燃动力系统,其特征在于,所述柯来浦单元(3)内包括氦制冷单元(17)和超导储能装置(18)。

3. 如权利要求1所述的液氢液氧直喷活塞式内燃动力系统,其特征在于,所述氢燃料发动机为包括但不限于多缸高频发动机或单缸高频发动机的设备,及其它可以实现氢燃料燃烧转换为动力的设备。

4. 如权利要求3所述的液氢液氧直喷活塞式内燃动力系统,其特征在于,所述柯来浦单元(3)包括液氢制备单元(21)、第二空气预冷换热器(22)、空气净化器(23)、发电机(24)、金属储氢材料更换装置(25)、空气氢气换热器(27)、氢气膨胀机(29)、氢气换热器(32)、液氢加压泵(38)、液氢换热器(39)、B1金属储氢材料反应床(55)、B2金属储氢材料反应床(56)、氦冷回收器(67)、氦气膨胀机(68)、氦节流阀(69)、液氦盘管(72)、超导储能线圈(73)、回收氦压缩机(76)、液氧制备单元(81)和第一空气预冷换热器(82);

所述B1金属储氢材料反应床(55)的第一放氢出口(59)和B2金属储氢材料反应床(56)的第二放氢出口(59')分别经液氢加压泵(38)以及液氢换热器(39)的壳程,与B1金属储氢材料反应床(55)的第一吸氢进口(27)和B2金属储氢材料反应床(56)的第二吸氢进口(57')连接;

所述B1金属储氢材料反应床(55)的第一未吸收氢气出口(58)和B2金属储氢材料反应床(56)的第二未吸收氢气出口(58')分别经氢气换热器(32)的壳程以及空气氢气换热器(27)的壳程,与氢气膨胀机(29)的入口连接;氢气膨胀机(29)的一级膨胀抽气口经氢气换热器(32)的管程与氢气膨胀机(29)的二级膨胀入口连接,氢气膨胀机(29)的二级膨胀出口经液氢换热器(39)的管程,分别与B1金属储氢材料反应床(55)的第一液化进口(60)和B2金属储氢材料反应床(56)的第二液化进口(60')连接;氢气膨胀机(29)的输出轴与发电机(24)的同轴或不同轴连接,氢气膨胀机(29)驱动发电机(24)发电;

常温氢气经常温氢气进口(216)进入空气氢气换热器(27)中的氢气换热盘管(26),氢气换热盘管(26)的出口与液氢制备单元(21)的壳程连接,液氢制备单元(21)的壳程出口通过管路与液氢出口(211)连接,将液氢输出柯来浦单元(3);

常温空气经空气进口(231)进入空气净化器(23),空气净化器(23)的出口经第二空气预冷换热器(22)的壳程,与空气氢气换热器(27)中的空气换热盘管(28)连接,空气换热盘管(28)的出口经第一空气预冷换热器(82)的管程进入液氧制备单元(81)的壳程;位于液氧制备单元(81)底部的第一壳程出口是液氧制备单元(81)的液氧产品出口,液氧制备单元(81)的第一壳程出口通过管路与液氧出口(811)连接,将液氧输出柯来浦单元(3);在液氧制备单元(81)的顶部设置第二壳程出口,液氧制备单元(81)的第二壳程出口与第一空气预冷换热器(82)的壳程入口连接,第一空气预冷换热器(82)的壳程出口与第二空气预冷换热器(22)的管程连接,第二空气预冷换热器(22)的管程出口即氮气排空口(221);

液氢制备单元(21)的管程中循环流动液氢;液氢制备单元(21)的管程经液氧制备单元(81)的管程、回收氦压缩机(76)和氦冷回收器(67),与氦气膨胀机(68)的入口连接,氦气膨胀机(68)的出口经氦节流阀(69)与液氢盘管(72)的入口连接,液氢盘管(72)的出口经回收氦压缩机(76)与液氢制备单元(21)的管程入口连接;

发电机(24)电路连接回收氦压缩机(76),为回收氦压缩机(76)提供电能;氦制冷单元(17)通过氦气膨胀机(68)制冷,所得冷量依次为液氢盘管(72)、液氢制备单元(21)和液氧制备单元(81)使用,实现液氢冷量的分级多次利用;

超导储能装置(18)中的超导储能线圈(73)与氦制冷单元(17)中的液氢盘管(72),均设置在发电/电动一体机(15)的壳体内;超导储能装置(18)与电力调整器(77)电路连接,电力调整器(77)与发电/电动一体机(15)电路连接;发电/电动一体机(15)的两端分别设有机械输入轴(151)和机械输出轴(152),机械输入轴(151)和机械输出轴(152)均伸出柯来浦单元(3)的绝热罩(71)外。

5.如权利要求4所述的液氢液氧直喷活塞式内燃动力系统,其特征在于,柯来浦单元(3)中氦制冷单元(17)和超导储能装置(18)的运行过程为:

氦制冷单元(17)的运行过程为:回收氦压缩机(76)输出的高压氦气经氦冷回收器(67)预冷,然后进入氦气膨胀机(68)进一步膨胀降温,最后经氦节流阀(69)节流膨胀形成低温的液氢;液氢通过液氢盘管(72)为超导储能线圈(73)提供低温工作环境,并为液氢制备单元(21)提供冷量以液化氢气;液氢经过液氢制备单元(21)的管程后转换为低温的氦气,低温的氦气继续为液氧制备单元(81)提供冷量以液化氧气;

超导储能装置(18)的运行过程为:超导储能装置(18)利用液氢盘管(72)提供的冷量将超导储能线圈(73)冷却,并使超导储能线圈(73)保持在其工作温度下工作,使其维持在超导状态工作以实现无损耗储能;氢燃料发动机同轴带动的发电/电动一体机(15)与超导储能装置(18)电力连接,产生的电力供给超导储能装置(18)进行存储;超导储能装置(18)在需要时可向外界供给电力。

6.如权利要求5所述的液氢液氧直喷活塞式内燃动力系统,其特征在于,所述B1金属储氢材料反应床(55)和B2金属储氢材料反应床(56)中添加的金属储氢材料为温度正相关的金属储氢材料组合,在其吸氢状态点下吸收氢气时放出热量,在其放氢状态点下放出氢气时提供低温冷量;金属储氢材料的吸/放氢状态点和工作点参数可根据工艺需要进行任意

调节;温度正相关的金属储氢材料的定义为高温吸收高压氢气放出高温热量,低温放出低压氢气释放低温冷量;在高温时吸收氢气放出高温热量,利用金属储氢材料反应床直接换热使氢气升温;系统至少存在一个负压单元,或是金属储氢材料的负压,或是氢气液化的负压,或是以上负压的组合。

7.如权利要求3所述的液氢液氧直喷活塞式内燃动力系统,其特征在于,所述多缸高频发动机包括多个氢气燃烧缸(5)、曲轴箱、水底壳(6)和排气通道(12);所述曲轴箱内设有曲轴(45),所述水底壳(6)设有排水口(16);

每个所述氢气燃烧缸(5)的上部和下部均设有液氢喷嘴(13)和液氧喷嘴(34);每个所述氢气燃烧缸(5)内均设有活塞(43),活塞(43)通过连杆(44)与曲轴(45)连接;曲轴(45)一头与发电/电动一体机(15)同轴连接,另一头设有飞轮;氢气燃烧缸(5)排出的尾气通过所述排气通道(12)汇集到尾气出口(14),然后进入所述柯来浦单元(3)。

8.如权利要求3所述的液氢液氧直喷活塞式内燃动力系统,其特征在于,所述单缸高频发动机的氢气燃烧缸(5)由活塞(43)分隔成上下独立的两部分,所述氢气燃烧缸(5)上下两部分均设有独立的液氢喷嘴(13)、液氧喷嘴(34)、排气口和火花塞(36);

所述活塞(43)从所述氢气燃烧缸(5)的上止点到下止点的运动过程中,所述氢气燃烧缸(5)的上部分先喷入液氢和液氧燃烧做功,然后进行排气;活塞(43)从所述氢气燃烧缸(5)的下止点到上止点的运动过程中,所述氢气燃烧缸(5)的下部分同样先喷入液氢和液氧燃烧做功,然后进行排气;

所述氢气燃烧缸(5)上部分的液氢喷嘴(13)和液氧喷嘴(34)的开启安排在活塞(43)到达所述氢气燃烧缸(5)上止点时,所述氢气燃烧缸(5)的上部分排气口的开启安排在活塞(43)从所述氢气燃烧缸(5)的上止点到下止点运行过程中的任意位置;

所述氢气燃烧缸(5)下部分的液氢喷嘴(13)和液氧喷嘴(34)的开启安排在活塞(43)到达所述氢气燃烧缸(5)的下止点时,所述氢气燃烧缸(5)的下部分排气口的开启安排在活塞(43)从所述氢气燃烧缸(5)的下止点到上止点运行过程中的任意位置。

9.如权利要求7所述的液氢液氧直喷活塞式内燃动力系统,其特征在于,所述多缸高频发动机的运转步骤为:

步骤一:活塞到达上止点时,气缸上部分进行燃烧做功行程,此时打开气缸上部分的液氢喷嘴(13)和液氧喷嘴(34),喷入液氢和液氧;由于此时气缸上部分内温度高于氢的燃点,喷入的液氢液氧自动燃烧产生高温高压的水蒸汽,推动活塞向下运动膨胀做功,同时打开气缸下部分的排气门,气缸下部分开始排气;

步骤二:活塞向下运行到距下止点预设位置处,关闭气缸下部分的排气门,活塞在惯性的作用下开始压缩气缸下部分中剩余的水蒸汽;

步骤三:活塞继续运行到气缸下止点时,气缸上部分的水蒸汽膨胀到低温低压状态,而同时气缸下部分中的水蒸汽被压缩到预设温度和压力状态下;此时气缸上部分的燃烧做功行程结束转入排气压缩行程,气缸下部分的排气压缩行程结束转入燃烧做功行程;

步骤四:打开气缸下部分的液氢喷嘴(13)和液氧喷嘴(34),喷入液氢和液氧;由于此时气缸上部分内温度高于氢的燃点,喷入的液氢液氧自动燃烧产生高温高压的水蒸汽,推动活塞向上运动膨胀做功,同时打开气缸上部分的排气门,气缸上部分开始排气;

步骤五:活塞向上运行到距上止点预设位置处,关闭气缸上部分的排气门,活塞在惯性

的作用下开始压缩气缸上部分中剩余的水蒸汽；

步骤六：活塞继续运行到气缸上止点时，气缸下部分的水蒸汽膨胀到低温低压状态，而同时气缸上部分中的水蒸汽被压缩到预设温度和压力状态下；此时气缸下部分的燃烧做功行程结束转入排气压缩行程，气缸上部分的排气压缩行程结束转入燃烧做功行程；此时气缸重复进行步骤一工作，如此往复循环。

10. 如权利要求4所述的液氢液氧直喷活塞式内燃动力系统，其特征在于，在所述柯来浦单元(3)的绝热罩(71)上设置定位和通信模块(84)；所述定位和通信模块(84)用于将所述液氢液氧直喷活塞式内燃动力系统，以及装有所述液氢液氧直喷活塞式内燃动力系统的交通工具的运行信息，实时反馈给指定的接收装置；

所述定位和通信模块(84)与包括但不限于卫星、基站或其他液氢液氧直喷活塞式内燃动力系统进行通信。

11. 一种液氢液氧直喷活塞式内燃动力系统，其特征在于，包括：氢燃料发动机、氢化镁储罐(1)、柯来浦单元(3)、循环水箱(30)、液氧加压泵(7)、液氢加压泵(8)、水输送泵(9)、氧气罐(20)和低压氢气缓冲罐(10)；

所述氢化镁储罐(1)的氢气出口设有氢气过滤膜(2)，循环水箱(30)设有排水口(16)；所述柯来浦单元(3)用于利用所述氢化镁储罐(1)排出的氢气制备液氢，以及用于利用所述氧气罐(20)输出的氧气制备液氧；

所述氢化镁储罐(1)的氢气出口与所述低压氢气缓冲罐(10)连接，所述低压氢气缓冲罐(10)的出口连接到所述柯来浦单元(3)；所述柯来浦单元(3)的第一出口通过液氧加压泵(7)与所述氢燃料发动机的液氧喷嘴(34)连接；所述柯来浦单元(3)的第二出口通过液氢加压泵(8)与所述氢燃料发动机的液氢喷嘴(13)连接；所述柯来浦单元(3)的第一进口和所述氧气罐(20)连接；循环水箱(30)通过水输送泵(9)分为三路，第一路与所述氢燃料发动机的水底壳(6)循环连接，第二路通过尾气冷凝水循环管路(19)与所述液氧加压泵(7)的进口连接，第三路通过氢化镁储罐补水管线(4)与所述氢化镁储罐(1)连接。

一种液氢液氧直喷活塞式内燃动力系统

技术领域

[0001] 本申请属于新能源发动机技术领域,尤其涉及一种液氢液氧直喷活塞式内燃动力系统。

背景技术

[0002] 能源短缺、环境污染、全球气候变化,使得开发清洁、高效、安全和可持续的能源迫在眉睫,其中氢能正在受到越来越多国家的重视。进入二十一世纪,发动机工业得到了迅速地发展,然而目前汽油机和柴油机依然是车用发动机的主要机种。汽油和柴油都是不可再生资源,为了减缓石油资源的匮乏所带来的一系列负面影响以及减少大气污染和发动机尾气排放,需要寻找发动机的代用燃料,而氢能源是目前最理想的清洁燃料。随着世界各国环境保护的措施越来越严格,氢能源车辆由于其节能、低排放等特点成为发动机研究与开发的一个重点,并已经开始商业化。

[0003] 氢作为燃料的优点是,以水为原料,资源丰富;燃烧时放出的热量多;燃烧产物是水,无毒、无污染,且可以循环使用,被称作绿色能源。氢气可以从电解水、煤的气化中大量制取,而且不需要对发动机进行大的改装,因此氢能动力具有广阔的应用前景。推广氢能动力需要解决三个技术问题:一是大量制取廉价氢气,传统的电解方法价格昂贵,且耗费其他资源,无法推广;二是氢气的安全储运问题;三是发动机所需的高性能、廉价的氢供给系统。同时氢能源直接用在动力系统上会产生爆震、不稳定等一系列影响利用的问题,将氢气与其他多种气体包括惰性气体混合后加压的高压气源,氢能源作为新的动力系统的替代燃料势必会成为趋势。氢内燃机与氢燃料电池相比,燃料电池耗资颇高,氢内燃机有待于可在传统汽油内燃机基础上进一步完善和改进,以利于快速推广和工业化。

发明内容

[0004] 本发明的目的是提供一种液氢液氧直喷活塞式内燃动力系统,充分地利用发动机尾气余热,解决发动机尾排问题,提高发动机的热效率,使发动机尾气达到零排放。

[0005] 本申请实施例提供了一种液氢液氧直喷活塞式内燃动力系统,包括:氢燃料发动机、氢化镁储罐、柯来浦单元、循环水箱、液氧加压泵、液氢加压泵、水输送泵和低压氢气缓冲罐。氢化镁储罐的氢气出口设有氢气过滤膜,循环水箱和氢燃料发动机的水底壳均设有排水口。

[0006] 氢化镁储罐的氢气出口与低压氢气缓冲罐连接,低压氢气缓冲罐的出口连接到柯来浦单元。柯来浦单元用于利用氢化镁储罐排出的氢气制备液氢,以及用于利用空气制备液氧。

[0007] 柯来浦单元的第一出口通过液氧加压泵与氢燃料发动机的液氧喷嘴连接。柯来浦单元的第二出口通过液氢加压泵与氢燃料发动机的液氢喷嘴连接。柯来浦单元的第三出口与循环水箱连接。柯来浦单元的第一进口与氢燃料发动机的尾气出口连接。柯来浦单元上还设有第二进口和第四出口,柯来浦单元的第二进口为空气进口,柯来浦单元的第四出

口为废气放空口。

[0008] 循环水箱的出口通过水输送泵分为三路,第一路与氢燃料发动机的水底壳循环连接,第二路通过尾气冷凝水循环管路与液氧加压泵的进口连接,第三路通过氢化镁储罐补水管线与氢化镁储罐连接。

[0009] 在本申请的一些实施例中,柯来浦单元内包括氦制冷单元和超导储能装置。

[0010] 在本申请的一些实施例中,氢燃料发动机为多缸高频发动机或单缸高频发动机。

[0011] 在本申请的一些实施例中,柯来浦单元包括液氢制备单元、第二空气预冷换热器、空气净化器、发电机、金属储氢材料更换装置、空气氢气换热器、氢气膨胀机、氢气换热器、液氢加压泵、液氢换热器、B1金属储氢材料反应床、B2金属储氢材料反应床、氦冷回收器、氦气膨胀机、氦节流阀、液氢盘管、超导储能线圈、回收氦压缩机、液氧制备单元和第一空气预冷换热器。

[0012] B1金属储氢材料反应床的第一放氢出口和B2金属储氢材料反应床的第二放氢出口分别经液氢加压泵以及液氢换热器的壳程,与B1金属储氢材料反应床的第一吸氢进口和B2金属储氢材料反应床的第二吸氢进口连接。

[0013] B1金属储氢材料反应床的第一未吸收氢气出口和B2金属储氢材料反应床的第二未吸收氢气出口分别经氢气换热器的壳程以及空气氢气换热器的壳程,与氢气膨胀机的入口连接。氢气膨胀机的一级膨胀抽气口经氢气换热器的管程与氢气膨胀机的二级膨胀入口连接,氢气膨胀机的二级膨胀出口经液氢换热器的管程,分别与B1金属储氢材料反应床的第一液化进口和B2金属储氢材料反应床的第二液化进口连接。氢气膨胀机的输出轴与发电机的同轴或不同轴连接,氢气膨胀机驱动发电机发电。

[0014] 常温氢气经常温氢气进口进入空气氢气换热器中的氢气换热盘管,氢气换热盘管的出口与液氢制备单元的壳程连接,液氢制备单元的壳程出口通过管路与液氢出口连接,将液氢输出柯来浦单元。

[0015] 常温空气经空气进口进入空气净化器,空气净化器的出口经第二空气预冷换热器的壳程,与空气氢气换热器中的空气换热盘管连接,空气换热盘管的出口经第一空气预冷换热器的管程进入液氧制备单元的壳程。位于液氧制备单元底部的第一壳程出口是液氧制备单元的液氧产品出口,液氧制备单元的第一壳程出口通过管路与液氧出口连接,将液氧输出柯来浦单元。在液氧制备单元的顶部设置第二壳程出口,液氧制备单元的第二壳程出口与第一空气预冷换热器的壳程入口连接,第一空气预冷换热器的壳程出口与第二空气预冷换热器的管程连接,第二空气预冷换热器的管程出口即氮气排空口。

[0016] 液氢制备单元的管程中循环流动液氢;液氢制备单元的管程经液氧制备单元的管程、回收氦压缩机和氦冷回收器,与氦气膨胀机的入口连接,氦气膨胀机的出口经氦节流阀与液氢盘管的入口连接,液氢盘管的出口经回收氦压缩机与液氢制备单元的管程入口连接。

[0017] 发电机电路连接回收氦压缩机,为回收氦压缩机提供电能;氦制冷单元通过氦气膨胀机制冷,所得冷量依次为液氢盘管、液氢制备单元和液氧制备单元使用,实现液氢冷量的分级多次利用。

[0018] 超导储能装置中的超导储能线圈与氦制冷单元中的液氢盘管,均设置在发电/电动一体机的壳体内。超导储能装置与电力调整器电路连接,电力调整器与发电/电动一体机

电路连接。发电/电动一体机的两端分别设有机械输入轴和机械输出轴，机械输入轴和机械输出轴均伸出柯来浦单元的绝热罩外。

[0019] 在本申请的一些实施例中，柯来浦单元中氦制冷单元和超导储能装置的运行过程为：

氦制冷单元的运行过程为：回收氦压缩机输出的高压氦气经氦冷回收器预冷，然后进入氦气膨胀机进一步膨胀降温，最后经氦节流阀节流膨胀形成低温的液氦。液氦通过液氦盘管为超导储能线圈提供低温工作环境，并为液氢制备单元提供冷量以液化氢气。液氦经过液氢制备单元的管程后转换为低温的氦气，低温的氦气继续为液氧制备单元提供冷量以液化氧气。

[0020] 超导储能装置的运行过程为：超导储能装置利用液氦盘管提供的冷量将超导储能线圈冷却，并使超导储能线圈保持在其工作温度下工作，使其维持在超导状态工作以实现无损耗储能。氢燃料发动机同轴带动的发电/电动一体机与超导储能装置电力连接，产生的电力供给超导储能装置进行存储。超导储能装置在需要时可向外界供给电力。

[0021] 在本申请的一些实施例中，B1金属储氢材料反应床和B2金属储氢材料反应床中添加的金属储氢材料为温度正相关的金属储氢材料组合，在其吸氢状态点下吸收氢气时放出热量，在其放氢状态点下放出氢气时提供低温冷量。金属储氢材料的吸/放氢状态点和工作点参数可根据工艺需要进行任意调节。温度正相关的金属储氢材料的定义为高温吸收高压氢气放出高温热量，低温放出低压氢气释放低温冷量。在高温时吸收氢气放出高温热量，利用金属储氢材料反应床直接换热使氢气升温。系统至少存在一个负压单元，或是金属储氢材料的负压，或是氢气液化的负压，或是以上负压的组合。

[0022] 在本申请的一些实施例中，多缸高频发动机包括多个氢气燃烧缸、曲轴箱、水底壳和排气通道。曲轴箱内设有曲轴，水底壳设有排水口。

[0023] 每个氢气燃烧缸的上部和下部均设有液氢喷嘴和液氧喷嘴。每个氢气燃烧缸内均设有活塞，活塞通过连杆与曲轴连接。曲轴一头与发电/电动一体机同轴连接，另一头设有飞轮。氢气燃烧缸排出的尾气通过排气通道汇集到尾气出口，然后进入柯来浦单元。

[0024] 在本申请的一些实施例中，单缸高频发动机的氢气燃烧缸由活塞分隔成上下独立的两部分，氢气燃烧缸上下两部分均设有独立的液氢喷嘴、液氧喷嘴、排气口和火花塞。

[0025] 活塞从氢气燃烧缸的上止点到下止点的运动过程中，氢气燃烧缸的上部分先喷入液氢和液氧燃烧做功，然后进行排气。活塞从氢气燃烧缸的下止点到上止点的运动过程中，氢气燃烧缸的下部分同样先喷入液氢和液氧燃烧做功，然后进行排气。

[0026] 氢气燃烧缸上部分的液氢喷嘴和液氧喷嘴的开启安排在活塞到达氢气燃烧缸上止点时，氢气燃烧缸的上部分排气口的开启安排在活塞从氢气燃烧缸的上止点到下止点运行过程中的任意位置。

[0027] 氢气燃烧缸下部分的液氢喷嘴和液氧喷嘴的开启安排在活塞到达氢气燃烧缸的下止点时，氢气燃烧缸的下部分排气口的开启安排在活塞从氢气燃烧缸的下止点到上止点运行过程中的任意位置。

[0028] 在本申请的一些实施例中，多缸高频发动机的运转步骤为：

步骤一：活塞到达上止点时，气缸上部分进行燃烧做功行程，此时打开气缸上部分的液氢喷嘴和液氧喷嘴，喷入液氢和液氧。由于此时气缸上部分内温度高于氢的燃点，喷入的液

氢液氧自动燃烧产生高温高压的水蒸汽,推动活塞向下运动膨胀做功,同时打开气缸下部分的排气门,气缸下部分开始排气。

[0029] 步骤二:活塞向下运行到距下止点预设位置处,关闭气缸下部分的排气门,活塞在惯性的作用下开始压缩气缸下部分中剩余的水蒸汽。

[0030] 步骤三:活塞继续运行到气缸下止点时,气缸上部分的水蒸汽膨胀到低温低压状态,而同时气缸下部分中的水蒸汽被压缩到预设温度和压力状态下。此时气缸上部分的燃烧做功行程结束转入排气压缩行程,气缸下部分的排气压缩行程结束转入燃烧做功行程。

[0031] 步骤四:打开气缸下部分的液氢喷嘴和液氧喷嘴,喷入液氢和液氧。由于此时气缸上部分内温度高于氢的燃点,喷入的液氢液氧自动燃烧产生高温高压的水蒸汽,推动活塞向上运动膨胀做功,同时打开气缸上部分的排气门,气缸上部分开始排气。

[0032] 步骤五:活塞向上运行到距上止点预设位置处,关闭气缸上部分的排气门,活塞在惯性的作用下开始压缩气缸上部分中剩余的水蒸汽。

[0033] 步骤六:活塞继续运行到气缸上止点时,气缸下部分的水蒸汽膨胀到低温低压状态,而同时气缸上部分中的水蒸汽被压缩到预设温度和压力状态下。此时气缸下部分的燃烧做功行程结束转入排气压缩行程,气缸上部分的排气压缩行程结束转入燃烧做功行程。此时气缸重复进行步骤一工作,如此往复循环。

[0034] 在本申请的一些实施例中,在柯来浦单元的绝热罩上设置定位和通信模块。定位和通信模块用于将液氢液氧直喷活塞式内燃动力系统,以及装有液氢液氧直喷活塞式内燃动力系统的交通工具的运行信息,实时反馈给指定的接收装置。定位和通信模块与包括但不限于卫星、基站或其他液氢液氧直喷活塞式内燃动力系统进行通信。

[0035] 本申请实施例还提供了另一种液氢液氧直喷活塞式内燃动力系统,包括:氢燃料发动机、氢化镁储罐、柯来浦单元、循环水箱、液氧加压泵、液氢加压泵、水输送泵、氧气罐和低压氢气缓冲罐。

[0036] 氢化镁储罐的氢气出口设有氢气过滤膜,循环水箱设有排水口。柯来浦单元用于利用氢化镁储罐排出的氢气制备液氢,以及用于利用氧气罐输出的氧气制备液氧。

[0037] 氢化镁储罐的氢气出口与低压氢气缓冲罐连接,低压氢气缓冲罐的出口连接到柯来浦单元。柯来浦单元的第一出口通过液氧加压泵与氢燃料发动机的液氧喷嘴连接。柯来浦单元的第二出口通过液氢加压泵与氢燃料发动机的液氢喷嘴连接。柯来浦单元的第一进口和氧气罐连接。循环水箱通过水输送泵分为三路,第一路与氢燃料发动机的水底壳循环连接,第二路通过尾气冷凝水循环管路与液氧加压泵的进口连接,第三路通过氢化镁储罐补水管线与氢化镁储罐连接。

[0038] 本申请实施例提供的液氢液氧直喷活塞式内燃动力系统,与柯来浦单元结合,充分利用发动机尾气余热,彻底解决了发动机尾排问题,提高了发动机的热效率,使发动机尾气达到零排放。氢燃料发动机采用多缸高频发动机或单缸高频发动机,提高了动力系统氢燃料发动机选择的多样性和灵活性,高频发动机具有全氧气、自点火、高频率、自保护、燃料大进料量、和高的特点。通过动力系统柯来浦单元,制备液氧与液氢,进而使用液氧与液氢燃烧,具有温度高、压力大且能量密度高,功率大但体积小等优点,主要用于飞行设备,也可以用于地面移动设备,还可以用于各类交通工具。既可以用于发电,也可以用于动力输出。

[0039] 本发明利用氢燃料清洁环保的特性只是一个过程,更具有重要意义的是本系统具有更高的柯来浦系数,即拥有更高的燃料供给,更高的输出功率,整个系统具有更小的有效体积和有效重量。本发明可以用于多种场合,具有多种用途;既可以用于固定场所,也可以用于移动设备,还可以用于各类交通工具;既可以用于发电,也可以用于动力输出。尤其是用于交通工具,更容易实现平面世界向立体世界的转化,地面的行走交通工具被变革为在空中三维空间内运行的空中交通工具,利用本系统的空中交通工具还更容易冲破地球的束缚进入外太空。同时也是对抗能量密度极高的大规模杀伤性武器的有效工具。

附图说明

[0040] 为了更清楚地说明本申请实施例中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本申请的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动性的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0041] 图1是本申请实施例提供的一种液氢液氧直喷活塞式内燃机动力系统的结构示意图;

图2是本申请实施例提供的六缸高频发动机的结构示意图;

图3是本申请实施例提供的单缸高频发动机的结构示意图;

图4是本申请实施例提供的再一种液氢液氧直喷活塞式内燃机动力系统的结构示意图;

图5是图4所示液氢液氧直喷活塞式内燃机动力系统中柯来浦单元的结构示意图;

图6是本申请实施例提供的另一种液氢液氧直喷活塞式内燃机动力系统的结构示意图。

[0042] 其中,1—氢化镁储罐、2—氢气过滤膜、3—柯来浦单元、4—氢化镁储罐补水管线、5—氢气燃烧缸、6—水底壳、7—液氧加压泵、8—液氢加压泵、9—水输送泵、10—低压氢气缓冲罐、12—排气通道、13—液氢喷嘴、14—尾气出口、15—发电/电动一体机、151—机械输入轴、152—机械输出轴、16—排水口、17—氦制冷单元、18—超导储能装置、19—尾气冷凝水循环管路、20—氧气罐、21—液氢制备单元、211—液氢出口、22—第二空气预冷换热器、221—氮气排空口、23—空气净化器、231—空气进口、24—发电机、25—金属储氢材料更换装置、26—氢气换热盘管、216—常温氢气进口、27—空气氢气换热器、28—空气换热盘管、29—氢气膨胀机、30—循环水箱、31—循环冷却水管线、32—氢气换热器、33—保护气入口、34—液氧喷嘴、35—可燃性气体报警器、36—火花塞、37—温度调节器、38—液氢加压泵、39—液氢换热器、43—活塞、44—连杆、45—曲轴、55—B1金属储氢材料反应床、56—B2金属储氢材料反应床、57—第一吸氢进口、58—第一未吸收氢气出口、59—第一放氢出口、60—第一液化进口、57'—第二吸氢进口、58'—第二未吸收氢气出口、59'—第二放氢出口、60'—第二液化进口、67—氦冷回收器、68—氦气膨胀机、69—氦节流阀、71—绝热罩、72—液氦盘管、73—超导储能线圈、76—回收氦压缩机、77—电力调整器、81—液氧制备单元、811—液氧出口、82—第一空气预冷换热器、83—换热管路、84—定位和通信模块。

具体实施方式

[0043] 以下描述中,为了说明而不是为了限定,提出了诸如特定系统结构、技术之类的具体细节,以便透彻理解本申请实施例。然而,本领域的技术人员应当清楚,在没有这些具体细节的其它实施例中也可以实现本申请。在其它情况中,省略对众所周知的系统、装置、电路以及方法的详细说明,以免不必要的细节妨碍本申请的描述。

[0044] 为了说明本申请所述的技术方案,下面通过具体实施例来进行说明。

[0045] 实施例1

本申请实施例提供了一种液氢液氧直喷活塞式内燃动力系统,如图1所示,该系统包括:氢燃料发动机、氢化镁储罐1、柯来浦单元3、循环水箱30、液氧加压泵7、液氢加压泵8、水输送泵9和低压氢气缓冲罐10。

[0046] 氢化镁储罐1的氢气出口设有氢气过滤膜2,循环水箱30和氢燃料发动机的水底壳6均设有排水口16。

[0047] 氢化镁储罐1的氢气出口与低压氢气缓冲罐10连接,低压氢气缓冲罐10的出口连接到柯来浦单元3。柯来浦单元3用于利用氢化镁储罐1排出的氢气制备液氢,以及用于利用空气制备液氧。

[0048] 柯来浦单元3的第一出口通过液氧加压泵7与氢燃料发动机的液氧喷嘴34连接。柯来浦单元3的第二出口通过液氢加压泵8与氢燃料发动机的液氢喷嘴13连接。柯来浦单元3的第三出口与循环水箱30连接。柯来浦单元3的第一进口与氢燃料发动机的尾气出口14连接。

[0049] 柯来浦单元3上还设有第二进口和第四出口。柯来浦单元3的第二进口为空气进口,柯来浦单元3的第四出口为废气放空口。

[0050] 循环水箱30的出口通过水输送泵9分为三路。第一路与氢燃料发动机的水底壳6循环连接,第二路通过尾气冷凝水循环管路19与液氧加压泵7的进口连接,第三路通过氢化镁储罐补水管线4与氢化镁储罐1连接。

[0051] 根据实际需要,可以在氢化镁储罐1和柯来浦单元3之间设置换热管路83,通过换热管路83能够将氢化镁储罐1的反应热传送至柯来浦单元3进行合理利用。

[0052] 在实际应用中,可以选用多缸高频发动机,如六缸高频发动机作为氢燃料发动机。图2所示为本申请实施例提供的六缸高频发动机的结构示意图。

[0053] 如图2所示,六缸高频发动机包括六个氢气燃烧缸5、曲轴箱、水底壳6和排气通道12。曲轴箱内设有曲轴45,水底壳6设有排水口16。

[0054] 每个氢气燃烧缸5的上部和下部均设有液氢喷嘴13和液氧喷嘴34。氢气燃烧缸5内均设有活塞43,活塞43通过连杆44与曲轴45连接。曲轴45一头与发电/电动一体机15同轴连接,另一头设有飞轮。氢气燃烧缸5排出的尾气通过排气通道12汇集到尾气出口14,然后进入柯来浦单元3。

[0055] 具体地,本实施例以总功率为333kw的六缸高频发动机为例进行说明:

发动机转速为10000rpm;

单缸有效体积(排量)0.5L;

活塞直径为46mm;

单个冲程的活塞行程为50mm;

气缸压缩余量为0.1mm;

每个气缸的上下部分交替进行排气压缩行程和燃烧做功行程。气缸上部分进行燃烧做功行程时,气缸下部分进行排气压缩行程;气缸上部分燃烧做功行程结束后转为排气压缩行程,同时气缸下部分的排气压缩行程结束转为燃烧做功行程。

[0056] 气缸启动点火步骤:

启动电机带动活塞到达上止点(此时活塞上顶面与气缸盖上平面距离0.1mm)时,气缸上部分首先进行燃烧做功行程,此时打开气缸上部分的液氢喷嘴13和液氧喷嘴34,喷入0.036ml的30MPa液氢和0.017ml的30MPa液氧;然后火花塞36开始点火,液氢液氧燃烧产生2000MPa、2500℃的水蒸汽,推动活塞向下运动膨胀做功,同时打开气缸下部分的排气门,气缸下部分开始排气(启动点火步骤与正常运转步骤的步骤一类同)。

[0057] 气缸正常运转步骤:

步骤一:活塞到达上止点(此时活塞上顶面与气缸盖上平面距离0.1mm)时,气缸上部分进行燃烧做功行程,此时打开气缸上部分的液氢喷嘴13和液氧喷嘴34,喷入0.036ml的30MPa液氢和0.017ml的30MPa液氧;由于此时气缸上部分内温度为870℃,压力为15MPa,喷入的液氢液氧自动燃烧产生2000MPa、2500℃的水蒸汽,推动活塞向下运动膨胀做功,同时打开气缸下部分的排气门,气缸下部分开始排气;

步骤二:活塞向下运行到距下止点5mm处,关闭气缸下部分的排气门,活塞在惯性的作用下开始压缩气缸下部分中剩余的水蒸汽;

步骤三:活塞继续运行到气缸下止点(此时活塞下顶面与气缸盖下平面距离0.1mm)时,气缸上部分的水蒸汽膨胀到0.1MPa,100℃,而同时气缸下部分中的水蒸汽被压缩到15MPa,870℃;此时气缸上部分的燃烧做功行程结束转入排气压缩行程,气缸下部分的排气压缩行程结束转入燃烧做功行程。

[0058] 步骤四:打开气缸下部分的液氢喷嘴13和液氧喷嘴34,喷入0.036ml的30MPa液氢和0.017ml的30MPa液氧;由于此时气缸下部分内温度为870℃,压力为15MPa,喷入的液氢液氧自动燃烧产生2000MPa、2500℃的水蒸汽,推动活塞向上运动膨胀做功,同时打开气缸上部分的排气门,气缸上部分开始排气;

步骤五:活塞向上运行到距上止点5mm处,关闭气缸上部分的排气门,活塞在惯性的作用下开始压缩气缸上部分中剩余的水蒸汽;

步骤六:活塞继续运行到气缸上止点(此时活塞上顶面与气缸盖上平面距离0.1mm)时,气缸下部分的水蒸汽膨胀到0.1MPa,100℃,而同时气缸上部分中的水蒸汽被压缩到15MPa,870℃;此时气缸下部分的燃烧做功行程结束转入排气压缩行程,气缸上部分的排气压缩行程结束转入燃烧做功行程。此时气缸重复进行步骤一工作,如此往复循环。

[0059] 本申请实施例的液氢液氧直喷活塞式内燃机动力系统的运行方式为:

氢燃料发动机的燃料氢气来源于氢化镁储罐1,氢化镁与水反应生成氢氧化镁和氢气: $MgH_2 + 2H_2O = Mg(OH)_2 + 2H_2$,反应在70℃常压下进行,产生的氢气储存在低压氢气缓冲罐10中,产生的70℃反应余热由柯来浦单元3回收利用。

[0060] 常温氢气经柯来浦单元3液化。柯来浦单元3使氢气液化,生产液氢。空气经过除尘净化后进入柯来浦单元3,所有的氮气和部分氧气排放掉并回收其冷量,制得99.999%的氧气。

[0061] 本实施例金属储氢材料为温度正相关的金属储氢材料组合,其吸氢状态点为-195℃,1.0MPa,吸收氢气时放出热量,其放氢状态点为-252.5℃,0.3MPa,放出氢气时提供低温冷量。为提高金属储氢材料反应床的吸放氢速率,实际工作中,吸氢时反应床内工作压力为2.6MPa,放氢时反应床内工作压力为0.12MPa。金属储氢材料的吸/放氢状态点和工作点参数可根据工艺需要进行任意调节。温度正相关的金属储氢材料的定义为高温吸收高压氢气放出高温热量,低温放出低压氢气释放低温冷量;在高温时吸收氢气放出高温热量,利用金属储氢材料反应床直接换热使氢气升温;系统至少存在一个负压单元,或是金属储氢材料的负压,或是氢气液化的负压,或是以上负压的组合。

[0062] 经过液氧加压泵7加压的30MPa液氧和经过液氢加压泵8加压的30MPa液氢喷入氢气燃烧缸5,启动时气缸点火由火花塞36点燃,启动后由于氢气燃烧缸5的原有温度,使液氢液氧迅速气化并达到着火点燃温度,快速燃烧压力达到2500℃、2000MPa。高温高压的水蒸汽推动活塞做功,做功后100℃、0.1MPa的尾气进入排气通道12,尾气中的主要成分是水蒸汽,允许水蒸汽中含有过量的氢气,尾气通过尾气出口14进入氢化镁储罐1以回收其中的氢气,同时回收尾气水蒸汽的冷凝热,冷凝水排入循环水箱30。

[0063] 本申请实施例中的氢燃料发动机也可以采用单缸高频发动机,采用单冲程设计。如图3所示,高频发动机的氢气燃烧缸5由活塞43分隔成上下独立的两部分,氢气燃烧缸5上下两部分均设有独立的液氢喷嘴13、液氧喷嘴34、排气口和火花塞36。

[0064] 活塞43从氢气燃烧缸5的上止点到下止点的运动过程中,氢气燃烧缸5的上部分喷入液氢和液氧燃烧做功,同时下部分进行排气。活塞43从氢气燃烧缸5的下止点到上止点的运动过程中,氢气燃烧缸5的下部分同样喷入液氢和液氧燃烧做功,同时上部分进行排气。

[0065] 氢气燃烧缸5上部分的液氢喷嘴13和液氧喷嘴34的开启安排在活塞43到达氢气燃烧缸5的上止点前后,氢气燃烧缸5的上部分排气口的开启安排在活塞43从氢气燃烧缸5的上止点到下止点运行过程中的任意位置。

[0066] 氢气燃烧缸5下部分的液氢喷嘴13和液氧喷嘴34的开启安排在活塞43到达氢气燃烧缸5的下止点前后,氢气燃烧缸5的下部分排气口的开启安排在活塞43从氢气燃烧缸5的下止点到上止点运行过程中的任意位置。

[0067] 为降低连杆和曲轴的受力,不排除采用下面的运行措施,当氢气燃烧缸5上部分燃烧做功,下部分排气时,下部分排气压力降低至0.1MPa,立即关闭下部分排气口,从而下部分剩余的极少量气体被压缩成高压气体,最高压力不超过30MPa,起到气体缓冲的效果;当氢气燃烧缸5下部分燃烧做功时亦然。允许氢气过量,以增加传热效果。

[0068] 液氢和液氧均采用缸内直喷,为防止燃烧超温影响氢气燃烧缸5及活塞43寿命,采用喷入过量氢气浓燃的方式控制反应温度。氢燃料发动机的工作温度可通过改变燃料进量、尾气排气时间和氧氢比例进行控制。

[0069] 加入的氢燃料可增加至原配比的10%~100%,过量氢气一方面传热较快能防止氢气燃烧缸5局部过热,另一方面过量氢气带走热量防止氢气燃烧后温度过高。由于燃料增加使活塞43运行速度增加,做功后氢气燃烧缸5处于高温状态,紧接着下一个循环所加入的液氧和液氢迅速降低了缸内的温度,这种自保护措施能防止机件损坏。水输送泵9通过尾气冷凝水循环管路19与液氧加压泵7进口连接,可以与液氧一同进入氢气燃烧缸5为氢气燃烧缸补水降温。只要能有效保护机件不被损坏的情况下,尽可能不加入水,也尽可能不过量氢气。

[0070] 高频发动机具有全氧气、自点火、允许尾气高温高压排放、高频率、冷凝热全回收、自保护、燃料高进给量、高柯来浦系数等优点。高频发动机的性能采用柯来浦系数进行评价,柯来浦系数为发动机功率除以发动机有效体积与有效重量乘积的商。本实施例的柯来浦系数为 $2523\text{kw}/(\text{kg}\cdot\text{m}^3)$ 。

[0071] 为水底壳6的曲轴箱内加注发动机尾气冷凝后的冷凝水,冷却曲轴、连杆及活塞。整套氢内燃机动力系统的单位重量轻、单位体积小,能量密度高,燃料可常压储存和常压使用,安全便利。发动机为冷机时可用火花塞36点火,热机时可自点火。

[0072] 此外,还可以在柯来浦单元3中增设氢制冷单元17和超导储能装置18,如图4所示。图5示出了上述柯来浦单元3的详细结构及组成。

[0073] 如图5所示,柯来浦单元3包括液氢制备单元21、第二空气预冷换热器22、空气净化器23、发电机24、金属储氢材料更换装置25、空气氢气换热器27、氢气膨胀机29、氢气换热器32、液氢加压泵38、液氢换热器39、B1金属储氢材料反应床55、B2金属储氢材料反应床56、氢冷回收器67、氢气膨胀机68、氢节流阀69、液氢盘管72、超导储能线圈73、回收氢压缩机76、液氧制备单元81和第一空气预冷换热器82。

[0074] B1金属储氢材料反应床55上设置有第一吸氢进口57、第一未吸收氢气出口58、第一液化进口60和第一放氢出口59;B2金属储氢材料反应床56上设置有第二吸氢进口57'、第二未吸收氢气出口58'、第二液化进口60' 和第二放氢出口59'。

[0075] B1金属储氢材料反应床55的第一放氢出口59和B2金属储氢材料反应床56的第二放氢出口59' 分别经液氢加压泵38以及液氢换热器39的壳程,与B1金属储氢材料反应床55的第一吸氢进口27和B2金属储氢材料反应床56的第二吸氢进口57' 连接。

[0076] B1金属储氢材料反应床55的第一未吸收氢气出口58和B2金属储氢材料反应床56的第二未吸收氢气出口58' 分别经氢气换热器32的壳程以及空气氢气换热器27的壳程,与氢气膨胀机29的入口连接;氢气膨胀机29的一级膨胀抽气口经氢气换热器32的管程与氢气膨胀机29的二级膨胀入口连接,氢气膨胀机29的二级膨胀出口经液氢换热器39的管程,分别与B1金属储氢材料反应床55的第一液化进口60和B2金属储氢材料反应床56的第二液化进口60' 连接;氢气膨胀机29的输出轴与发电机24的同轴或不同轴连接,氢气膨胀机29驱动发电机24发电。

[0077] 常温氢气经常温氢气进口261进入空气氢气换热器27中的氢气换热盘管26,氢气换热盘管26的出口与液氢制备单元21的壳程连接,液氢制备单元21的壳程出口通过管路与液氢出口211连接,将液氢输出柯来浦单元3。

[0078] 常温空气经空气进口231进入空气净化器23,空气净化器23的出口经第二空气预冷换热器22的壳程,与空气氢气换热器27中的空气换热盘管28连接,空气换热盘管28的出口经第一空气预冷换热器82的管程进入液氧制备单元81的壳程;位于液氧制备单元81底部的第一壳程出口是液氧制备单元81的液氧产品出口,液氧制备单元81的第一壳程出口通过管路与液氧出口811连接,将液氧输出柯来浦单元3。在液氧制备单元81的顶部设置第二壳程出口,液氧制备单元81的第二壳程出口与第一空气预冷换热器82的壳程入口连接,第一空气预冷换热器82的壳程出口与第二空气预冷换热器22的管程连接,第二空气预冷换热器22的管程出口即氮气排空口221。

[0079] 液氧制备单元81在制备液氧的同时,还会生成以氮气为主的废气,该废气也携带

有冷量,如直接排空会造成冷量的浪费。为了合理使用上述废气的冷量,可以在液氧制备单元81的顶部设置第二壳程出口,上述废气通过液氧制备单元81的第二壳程出口与第一空气预冷换热器82的壳程入口连接。通过第一空气预冷换热器82的壳程,上述废气可以为第一空气预冷换热器82管程内的空气进行预冷处理。换热后的上述废气通过第一空气预冷换热器82的壳程出口与第二空气预冷换热器22的管程连接,在第二空气预冷换热器22实现对常温空气的冷却。第二空气预冷换热器22的管程出口与氮气排空口221连接,利用空气制备液氧后产生的氮气最终排出柯来浦单元3。上述氮气也可以充入绝热罩71内,用来作为柯来浦单元3的保护气。柯来浦单元3的绝热罩71上可以设置可燃性气体报警器35和保护气入口33,保护气入口33设有阀门。绝热罩71内填充的气体为氮气,也不排除采用氢气、氦气等其他气体。绝热罩71和所有的管道均设置有内保温、外保温或内外保温,绝热罩71内压力为0.11MPa,温度为20℃。绝热罩71上还可以设置温度调节器(37),通过温度调节器(37)可以是绝热罩71内的环境保持恒温。

[0080] 此外,还可以在绝热罩71上设置定位和通信模块84,定位和通信模块84可以将本申请实施例提供的液氢液氧直喷活塞式内燃动力系统,以及装有该动力系统的交通工具的运行信息,实时反馈给指定的接收装置。

[0081] 液氢制备单元21的管程中循环流动液氢。液氢制备单元21的管程经液氧制备单元81的管程、回收氦压缩机76和氦冷回收器67,与氦气膨胀机68的入口连接,氦气膨胀机68的出口经氦节流阀69与液氢盘管72的入口连接,液氢盘管72的出口经回收氦压缩机76与液氢制备单元21的管程入口连接。

[0082] 发电机24电路连接回收氦压缩机76,为回收氦压缩机76提供电能;氦制冷单元17通过氦气膨胀机68制冷,所得冷量依次为液氢盘管72、液氢制备单元21和液氧制备单元81使用,实现液氢冷量的分级多次利用。

[0083] 超导储能装置18中的超导储能线圈73与氦制冷单元17中的液氢盘管72,均设置在发电/电动一体机15的壳体内。超导储能装置18与电力调整器77电路连接,电力调整器77与发电/电动一体机15电路连接。发电/电动一体机15的两端分别设有机械输入轴151和机械输出轴152,机械输入轴151和机械输出轴152均伸出柯来浦单元3的绝热罩71外。B1金属储氢材料反应床55和B2金属储氢材料反应床56具体的工作流程为:

B1金属储氢材料反应床55的金属储氢材料B在温度-252.5℃下吸收热量放出0.12MPa的液氢,放氢速率为2.5g/s,同时氢气膨胀机29二级膨胀出口40.6g/s经换热后的-242℃、0.12MPa氢气进入B1金属储氢材料反应床55被全部冷凝成-252.5℃的液氢;-252.5℃、0.12MPa液氢经过液氢加压泵38压缩至2.6MPa、-251.3℃,流量为43.1g/s;液氢加压泵38出口的2.6MPa、-251.3℃液氢先与液氢换热器39管程中的氢气进行换热,升温至-245.9℃进行气化,-245.9℃、2.6MPa的氢气再从B2金属储氢材料反应床56的第二吸氢进口57'进入,其中2.5g/s的氢气被B2金属储氢材料反应床56吸收,剩余40.6g/s的氢气吸收B2金属储氢材料反应床56的吸氢反应热后进一步升温至-224℃,-224℃、2.6MPa、40.6g/s的氢气从B2金属储氢材料反应床56的第二未吸收氢气出口58'送到氢气换热器32与氢气膨胀机29的一级膨胀出口来的氢气换热后升温到-198.8℃,再进入空气氢气换热器27与常温空气和常温氢气换热升温至-160.5℃,换热后的循环氢气进入氢气膨胀机29中做功发电,氢气膨胀机29的一级膨胀出口0.65MPa,-188.7℃的氢气送往氢气换热器32的管程换热降温至-222℃,

再送回到氢气膨胀机29的二级膨胀入口继续做功发电,最终氢气膨胀机29的二级膨胀出口处0.12MPa,-236.2℃的氢气经过液氢换热器39降温到-242℃送入B1金属储氢材料反应床55的第一液化进口60进行冷却液化;当B1金属储氢材料反应床55完成放氢并且B2金属储氢材料反应床56完成吸氢后,两者进行吸氢/放氢切换。切换后,B2金属储氢材料反应床56的工作流程,与上述B1金属储氢材料反应床55工作流程类似。

[0084] 氢气膨胀机29和液氢加压泵38可以被包括但不限于采用压电装置的压缩机和做功机械所替代。空气氢气换热器27的热源包括但不限于是任何高于氢气膨胀机29入口温度的介质,可以是常温空气,也可以是其它的低温介质,可以向外界输出低温冷量。

[0085] B1金属储氢材料反应床55和B2金属储氢材料反应床56两者交替进行吸氢/放氢操作,两者每交替一次为一个循环切换,例如:在任一循环中,B1金属储氢材料反应床55进行吸氢操作,B2金属储氢材料反应床56在进行放氢操作;则在下一循环中,B1金属储氢材料反应床55切换进行放氢操作,B2金属储氢材料反应床56切换进行吸氢操作。B1金属储氢材料反应床55和B2金属储氢材料反应床56在每一个循环的末端两者进行切换准备时所需的冷量和热量分别由放氢反应和吸氢反应来提供。

[0086] B1金属储氢材料反应床55和B2金属储氢材料反应床56在低温低压放氢吸热时用于对从氢气进口进入的氢气进行冷却液化。B1金属储氢材料反应床55和B2金属储氢材料反应床56在相对高温高压吸氢放热时用于对从吸氢进口进入其中的氢气进行升温处理。液氢蒸发器54用于B1金属储氢材料反应床55和B2金属储氢材料反应床56之间在吸放氢时冷量/热量的平衡。

[0087] 在一具体实施方式中,B1金属储氢材料反应床55和B2金属储氢材料反应床56内装填的金属储氢材料相同,装填量允许相同也允许不同,通过阀门切换实现两者交替进行吸/放氢操作。单个金属储氢材料反应床装填金属储氢材料的量允许存在冗余,这样可以保证每次吸放氢速率满足快速高低压切换的需求,其冗余当量倍数根据工艺条件可以进行调整(1倍冗余当量是指金属储氢材料在整个一个完整工序循环内单次吸氢饱和时的所需最少金属储氢材料的量)。

[0088] 柯来浦单元3中氦制冷单元17和超导储能装置18的具体运行方式如图5所示:

(1)柯来浦单元3中氦制冷单元17的运行过程为:回收氦压缩机76输出的高压氦气经氦冷回收器67预冷,然后进入氢气膨胀机68进一步膨胀降温,最后经氦节流阀69节流膨胀形成低温的液氦。液氦通过液氦盘管72为超导储能线圈73提供低温工作环境,并为液氢制备单元21提供冷量以液化氢气。液氦经过液氢制备单元21的管程后转换为低温的氦气,低温的氦气继续为液氧制备单元81提供冷量以液化氧气。

[0089] (2)柯来浦单元3中超导储能装置18的运行过程为:超导储能装置18利用液氦盘管72提供的冷量将超导储能线圈73冷却,并使超导储能线圈73保持在其工作温度4.2K下工作,使其维持在超导状态工作以实现无损耗储能。氢燃料发动机同轴带动的发电/电动一体机15与超导储能装置18电力连接,产生的电力供给超导储能装置18进行存储。超导储能装置18在需要时可向外界供给电力。

[0090] 图4所示液氢液氧直喷活塞式内燃机动力系统的运行方式为:

氢燃料发动机的燃料氢气来源于氢化镁储罐1,氢化镁与水反应生成氢氧化镁和氢气:
$$\text{MgH}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Mg}(\text{OH})_2 + 2\text{H}_2$$
,反应在70℃常压下进行,产生的氢气储存在低压氢气缓冲

罐10中,产生的70℃反应余热由柯来浦单元3回收利用。常温氢气经柯来浦单元3液化。进入氢燃料发动机的可以是液氢液氧,也可以是气态氢气和气态氧气。

[0091] 柯来浦单元3包括液氧生产单元、液氢生产单元、氦制冷单元17和超导储能装置18,功率167kW。空气经过除尘净化后进入柯来浦单元3的液氧生产单元,利用液氦或低温氮气的冷量,制得纯度99.999%的液氧。同样,常温氢气进入柯来浦单元3的液氢生产单元,利用液氦的冷量制得液氢。氦制冷单元17产生温度为4.2K的液氦,4.2K的液氦供给超导储能装置18作为冷源使用。超导储能装置18在4.2K的氦冷却下,能够一直维持在4.2k的温度下进行工作以实现超导无损耗储能。氦在氦制冷单元17循环使用。

[0092] 经过液氧加压泵7加压的30MPa液氧和经过液氢加压泵8加压的30MPa液氢喷入氢气燃烧缸5,启动时气缸点火由火花塞36点燃,启动后由于氢气燃烧缸5的原有温度,使液氢液氧迅速气化并达到着火点燃烧温度,快速燃烧压力达到2500℃、2000MPa。高温高压的水蒸汽推动活塞做功,做功后100℃、0.1MPa的尾气进入排气通道12,尾气中的主要成分是水蒸汽,允许存在过量的氢气,尾气通过尾气出口14进入氢化镁储罐1以回收其中的氢气,同时回收尾气水蒸汽的冷凝热,冷凝水排入循环水箱30。氢气燃烧缸5同轴带动发电/电动一体机15,产生的电力由超导储能装置18进行存储。

[0093] 氢燃料发动机的各运转部件的润滑采用多种形式,如润滑油、润滑剂、气体润滑、水润滑、添加润滑剂的水润滑,或上述多种形式的任意组合。包括但不限于以下方式:水底壳内带有或不带有润滑剂的水在曲轴的作用下对活塞处进行润滑;可采用封闭油润滑定期保养注入润滑油;采用封闭介质润滑定期保养注入润滑介质;也可采用水润滑或添加了润滑剂的水进行润滑;活塞环采用石墨材料自润滑或其它含碳材料或金属材料或非金属材料自润滑;缸壁采用石墨材料或其它含碳材料或金属材料或非金属材料的涂层或镶嵌物。采用水润滑时,氢燃料发动机氢氧燃烧过程中避免了机油参与,尾气中没有VOC排放。

[0094] 在活塞环、活塞与氢气燃烧缸壁之间采用气体润滑或水润滑,一种形式是在活塞环或活塞的径向上设置多个出口方向分别为垂直向上和垂直向下的微细管路,微细管路从活塞环或活塞开口处连接从活塞内部引出的气体、液体或固体源管路;另一种形式是在氢气燃烧缸壁上设置多个连接气体、液体或固体源管路的、出口方向分别为垂直向上和垂直向下的微细管路,微细管路根据活塞环行程来控制开启或关闭;或者是上述形式的任意组合。活塞环、活塞与氢气燃烧缸壁之间采用的润滑介质为氢、氧、水或水蒸汽、带有润滑剂的水或水蒸汽、带有或不带有润滑剂的微粉冰粒,或上述润滑介质的两种或两种以上的组合,活塞环、活塞与氢气燃烧缸壁上的出口方向也可以为垂直喷出润滑介质。实际工作中还可以采用上述自润滑、水润滑、氢气直喷润滑等多种润滑的复合形式。氢燃料发动机的各运转部件也可采用传统润滑形式,包括油底壳润滑和机油系统,活塞环、活塞与氢气燃烧缸壁之间也可以采用传统润滑形式,但是环保指数低,排出污染物多。

[0095] 整套氢内燃机动力系统中连接各个设备和单元的管道均可设置内保温或外保温或内外保温措施。本发明内燃机动力系统,属于单冲程,做功能力是普通四冲程氢燃料发动机的四倍,使用液氧与液氢燃烧,温度高、压力大且能量密度高,功率大但体积小,主要用于飞行设备,也可以用于地面移动设备,还可以用于各类交通工具。既可以用于发电,也可以用于动力输出。

[0096] 实施例2

本申请实施例还提供了另一种液氢液氧直喷活塞式内燃动力系统,如图6所示,该系统包括:氢燃料发动机、氢化镁储罐1、柯来浦单元3、循环水箱30、液氧加压泵7、液氢加压泵8、水输送泵9、氧气罐20和低压氢气缓冲罐10。氢化镁储罐1的氢气出口设有氢气过滤膜2,循环水箱30设有排水口16。柯来浦单元3用于利用氢化镁储罐1排出的氢气制备液氢,以及用于利用氧气罐20输出的氧气制备液氧。

[0097] 氢化镁储罐1的氢气出口与低压氢气缓冲罐10连接,低压氢气缓冲罐10的出口连接到柯来浦单元3。柯来浦单元3的第一出口通过液氧加压泵7与氢燃料发动机的液氧喷嘴34连接。柯来浦单元3的第二出口通过液氢加压泵8与氢燃料发动机的液氢喷嘴13连接。柯来浦单元3的第一进口和氧气罐20连接。循环水箱30通过水输送泵9分为三路,第一路与氢燃料发动机的水底壳6循环连接,第二路通过尾气冷凝水循环管路19与液氧加压泵7的进口连接,第三路通过氢化镁储罐补水管线4与氢化镁储罐1连接。

[0098] 柯来浦单元3生产液氢和液氧,来源于低压氢气缓冲罐10和氧气罐20中氢气和氧气,通过金属氢化物在低温下吸放氢,产生冷量冷凝生产液氢和液氧。

[0099] 经过液氧加压泵7加压的30MPa液氧和经过液氢加压泵8加压的30MPa液氢喷入氢燃料发动机的氢气燃烧缸5,启动点火由火花塞36点燃,启动后由于氢气燃烧缸5的原有温度,使液氢液氧迅速气化并达到着火点燃烧温度,快速燃烧压力达到1500°C、2000MPa。高温高压的水蒸汽推动活塞43做功,做功后180°C、1MPa的水蒸汽从发动机排气口喷射而出。液氢液氧燃烧产生的高温高压能量首先通过活塞式氢气燃烧缸做功,膨胀做功后的一定压力尾气从排气口高速排出产生反作用力推动飞行设备运行。本实施例其它工艺过程与实施例1相同。

[0100] 该系统主要用于航天设备,可以在真空环境下工作,产生强有力的动力。也可以用于地面移动设备,还可以用于各类交通工具。既可以用于发电,也可以用于动力输出。

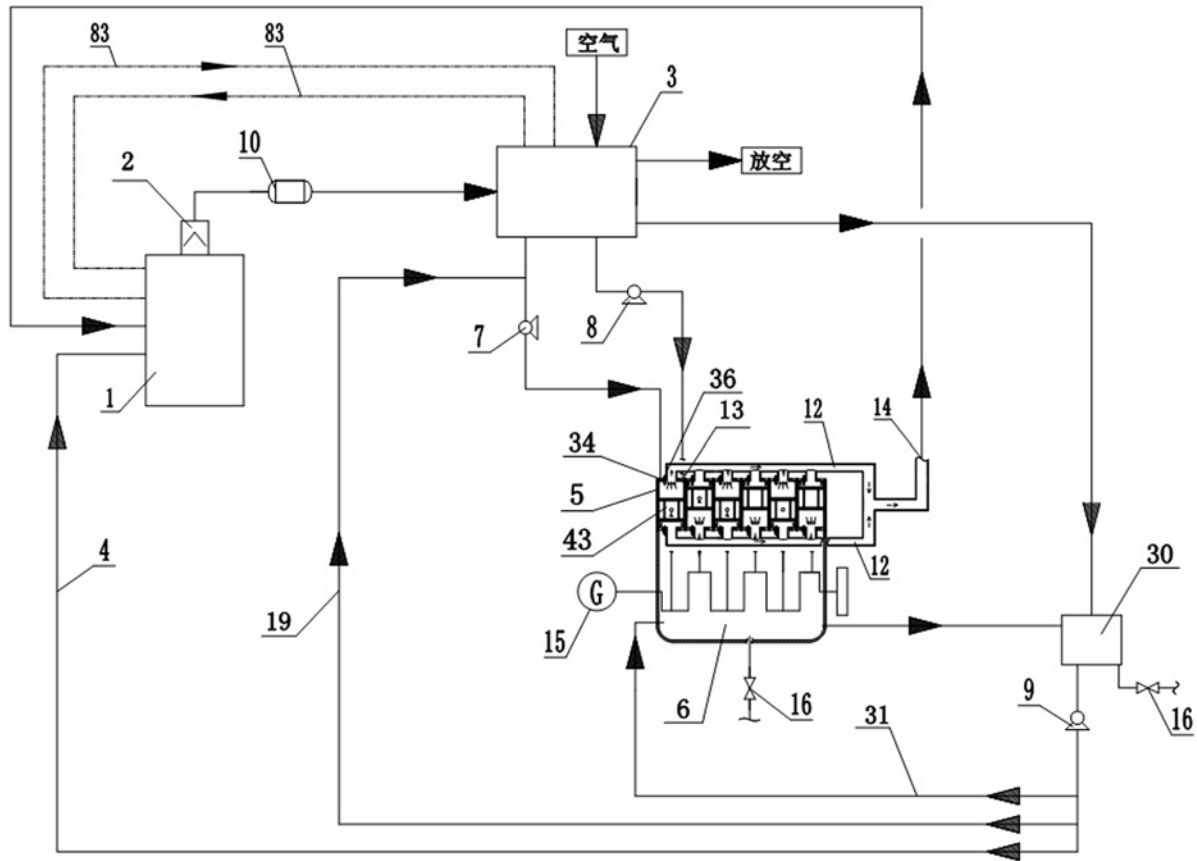


图1

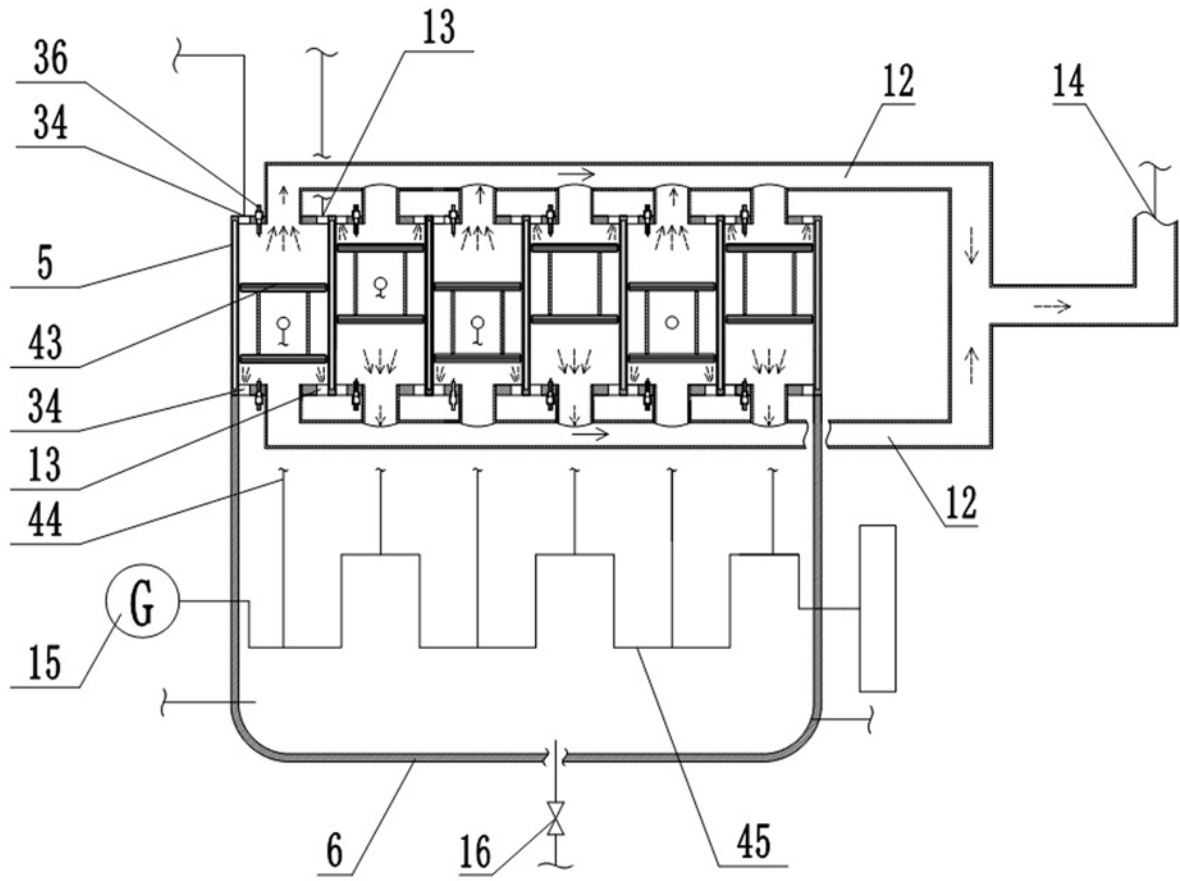


图2

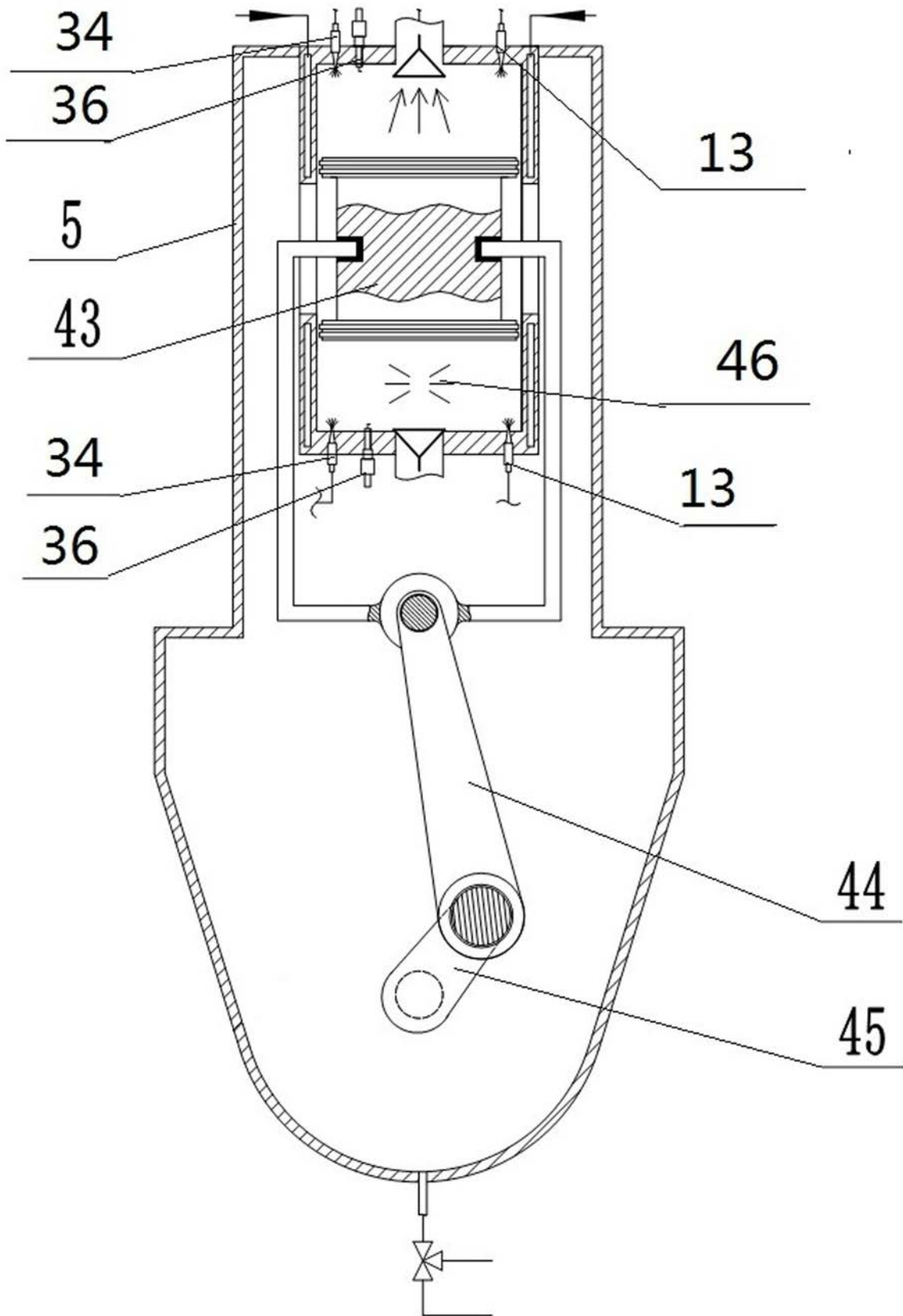


图3

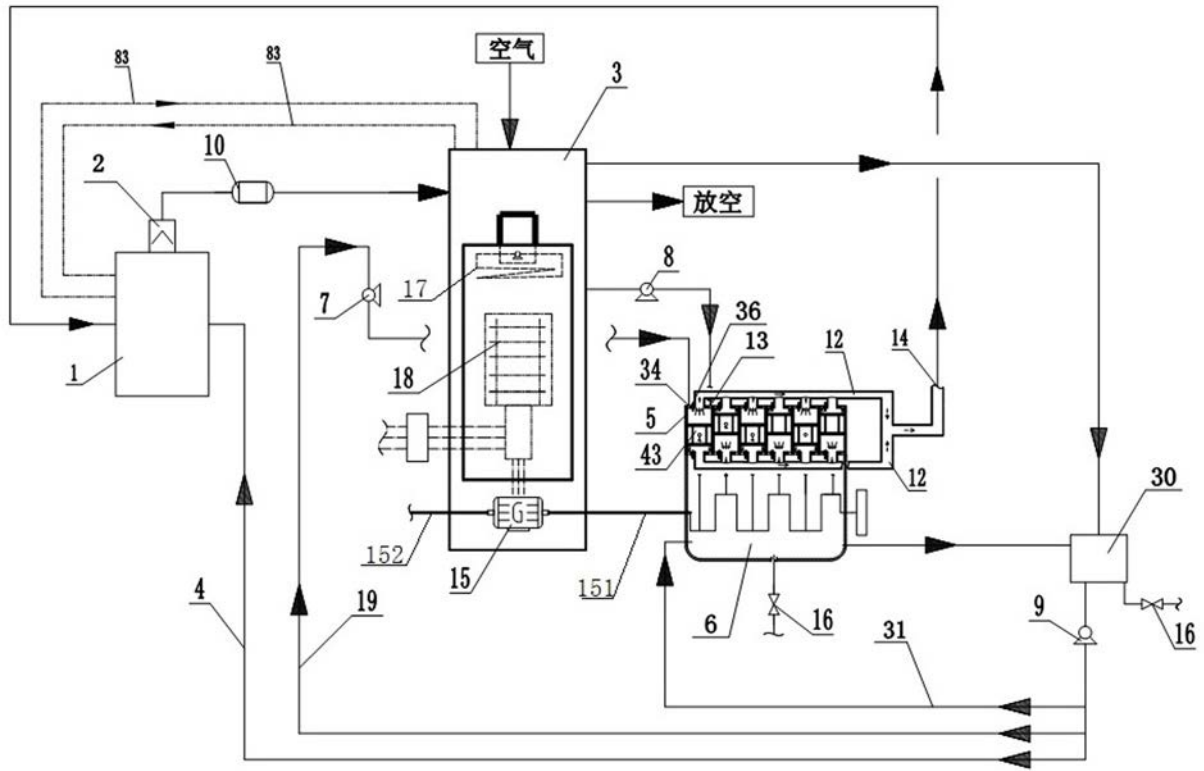


图4

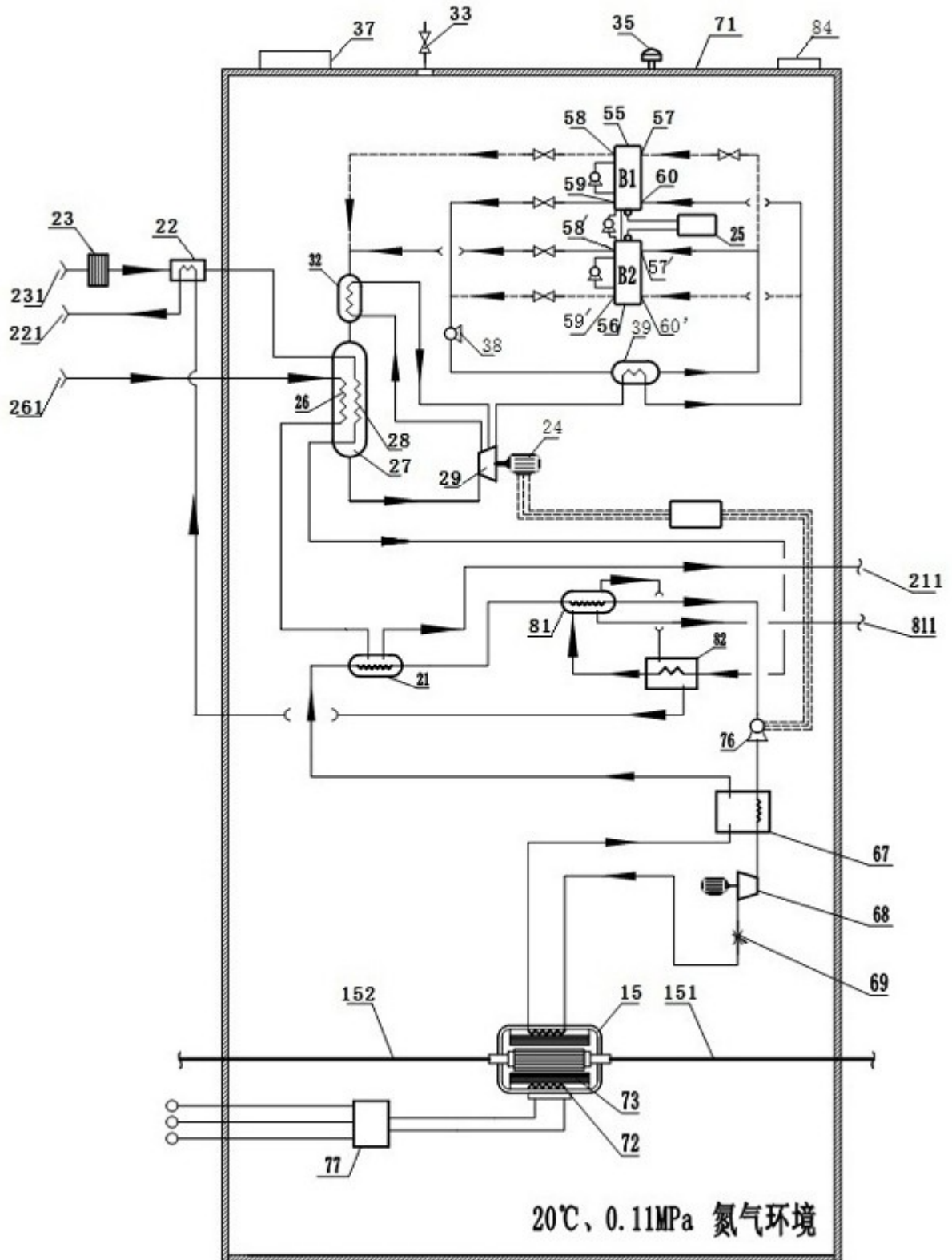


图5

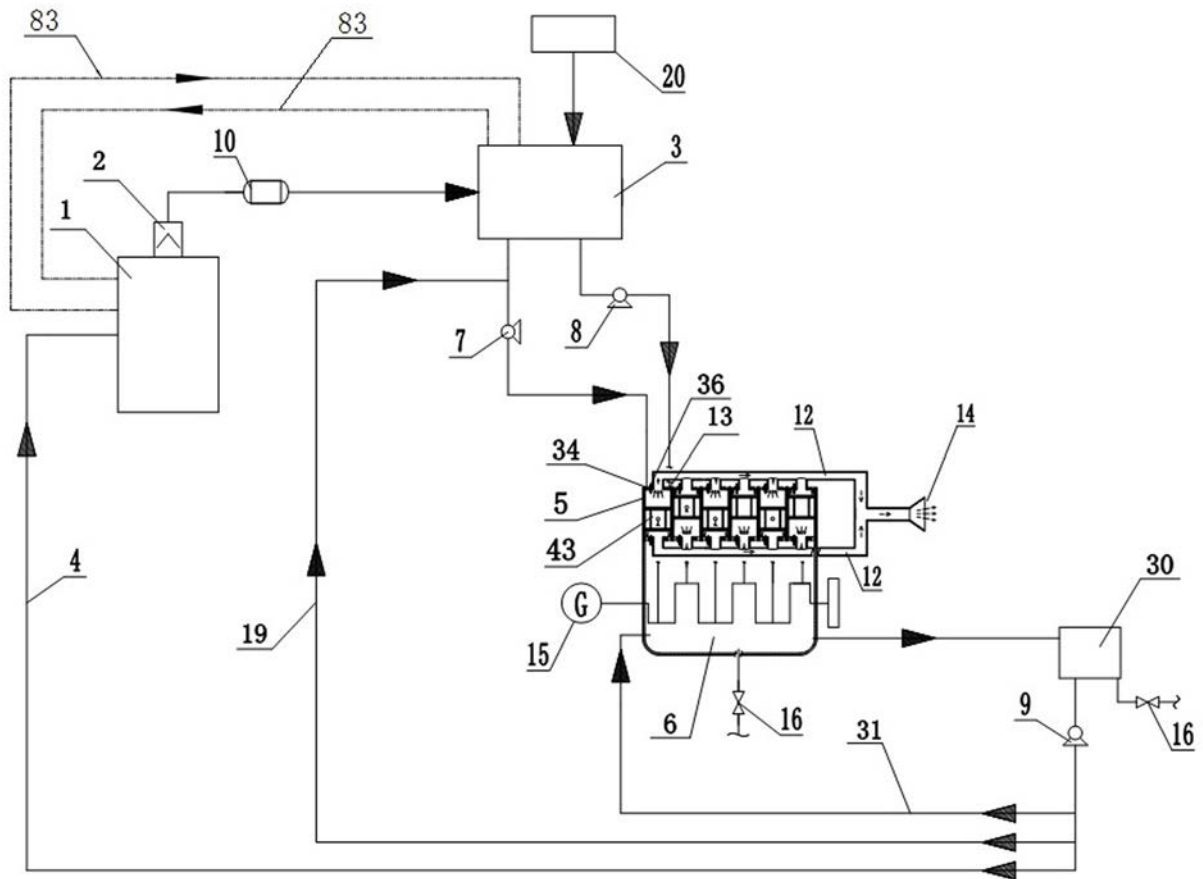


图6