



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108443010 B

(45) 授权公告日 2021.04.23

(21) 申请号 201810147958.1

F02B 41/10 (2006.01)

(22) 申请日 2018.02.13

F02B 75/00 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

C01B 3/00 (2006.01)

申请公布号 CN 108443010 A

C01B 13/02 (2006.01)

(43) 申请公布日 2018.08.24

C25B 1/04 (2021.01)

C25B 9/00 (2021.01)

(73) 专利权人 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

审查员 刘洋

(72) 发明人 贾鹏

(51) Int.Cl.

F02B 43/10 (2006.01)

F02B 75/02 (2006.01)

F02M 21/02 (2006.01)

F01N 5/02 (2006.01)

F01K 25/08 (2006.01)

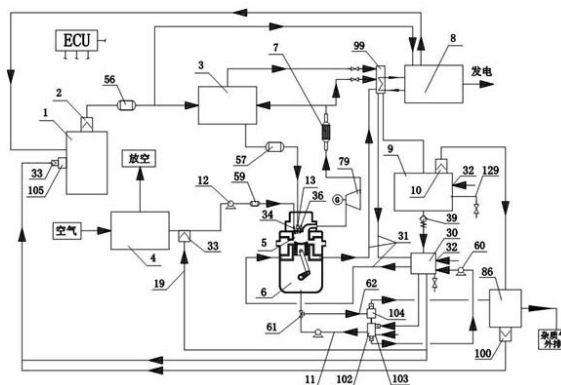
权利要求书10页 说明书39页 附图20页

(54) 发明名称

一种氧气直喷纯氢燃烧发动机及其动力系统

(57) 摘要

本发明涉及一种氧气直喷纯氢燃烧发动机及其动力系统,包括氢燃料发动机、氢化镁储罐、变压吸附制氧机、三元催化器、尾气余热利用单元、氢气提纯单元。氢化镁储罐通过低压氢气缓冲罐连接到氢燃料发动机的氢气口,变压吸附制氧机通过高压氧气缓冲罐连接到氢燃料发动机的氧气喷嘴。氢燃料发动机的排气孔通过尾气膨胀机或涡轮增压单元连接到三元催化器,三元催化器出口通过柯来浦单元/复合式柯来浦单元连接到气液分离器。气液分离器的气体出口通过氢气提纯单元连接到氢化镁储罐的水气入口,气液分离器的水出口连接到冷却水箱。本发明通过氢燃料发动机与柯来浦单元/复合式柯来浦单元结合,充分利用发动机尾气余热,提高了发动机的热效率。



CN 108443010 B

1. 一种氧气直喷纯氢燃烧内燃机动力系统,其特征是:所述动力系统设有氢气气源、氧气气源、尾气余热利用单元,所述尾气余热利用单元(8)为柯来浦单元,所述柯来浦单元包括2号换热中心(76)、升压床结构、膨胀机组和发电机(15);升压床结构为单级或多级,每增设一级升压床,2号换热中心相应增设一级换热器和一级氢气换热器;所述2号换热中心(76)设有高温气体进口(68)、低温气体出口(69)、一级换热器(91)、二级换热器(92)、三级换热器(93)、一级氢气换热器(94)、二级氢气换热器(82)、膨胀机中间再热器(81)和冷却器(74);柯来浦单元设有氢气检测器(101),柯来浦单元的外部包有充氮密封保护罩(80);高温气体进口(68)依次通过一级换热器(91)、二级换热器(92)、三级换热器(93)和膨胀机中间再热器(81)连接到低温气体出口(69);膨胀机组设有3台膨胀机(14)或一台组合式膨胀机,3台膨胀机与发电机(15)同轴连接,3台膨胀机的中间段分别与膨胀机中间再热器循环连接;每组升压床结构分别设有1号氢反应床(A)、2号氢反应床(B)、3号氢反应床(C)、缓冲罐(83)和氢气泵(95),1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床均添加有金属氢化物,各组升压床结构的型式、结构以及金属储氢材料的种类和载量相同或不同,每组升压床结构内的各个氢反应床的型式、结构以及金属储氢材料的种类和载量相同或不同,1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床分别设有换热介质入口(87)、换热介质出口(42)、低压氢气入口(108)和高压氢气出口(109),高压氢气出口设有过滤膜(106)和阀门(67),低压氢气入口设有阀门;高压氢气出口(109)连接到膨胀机的入口,膨胀机的出口通过缓冲罐(83)连接低压氢气入口(108);所述换热介质包括氢气、惰性气体或性质稳定的液体和气体,采用非氢气换热介质时,过滤膜(106)能分离氢气与非氢气换热介质,并且只能让氢气通过;第一组升压床结构的1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的换热介质出口(42)分别连接到三通阀(61),三通阀一路出口经氢气泵(95)、一级换热器(91)和三通阀连接到换热介质入口(87),另一路经一级氢气换热器(94)和三通阀连接到换热介质入口(87);第二组升压床结构的1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的换热介质出口分别连接到四通阀(90),四通阀一路出口经氢气泵(95)、二级换热器(92)和四通阀连接到换热介质入口,一路经氢气泵(95)、一级氢气换热器(94)和四通阀连接到换热介质入口,第三路经氢气泵(95)、二级氢气换热器(82)和四通阀连接到换热介质入口;第三组升压床结构的1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的换热介质出口分别连接到四通阀(90),四通阀一路出口经氢气泵(95)、三级换热器(93)和四通阀连接到换热介质入口,一路经氢气泵(95)、二级氢气换热器(82)和四通阀连接到换热介质入口,第三路经氢气泵(95)、冷却器(74)和四通阀连接到换热介质入口;所述氢气气源为氢化镁储罐(1),所述氢化镁储罐(1)通过氢气过滤膜(2)与冷却器(74)循环连接,所述氢气过滤膜(2)只允许氢气通过,氢燃料发动机的夹套与冷却器(74)循环连接;升压床结构的形式、组数或级数能够调节,利用高温气体的热量,加热金属氢化物放出高压氢气,高压氢气推动膨胀机做功;所述换热中心使用常规换热器或由高导热合金材料3D打印制成的换热装置,以降低设备体积及重量。

2. 一种氧气直喷纯氢燃烧内燃机动力系统,其特征是:所述动力系统设有氢气气源、氧气气源、尾气余热利用单元,所述尾气余热利用单元为复合式柯来浦单元,所述复合式柯来浦单元包括2号换热中心(76)、升压床结构、膨胀机组、有机工质压缩机(84)、有机工质膨胀机(85)、2号换热器(16)、3号换热器(17)和发电机(15);升压床结构为单级或多级,每增设一级升压床,2号换热中心相应增设一级换热器和一级氢气换热器;复合式柯来浦单元设有

氢气检测器(101),复合式柯来浦单元的外部包有充氮密封保护罩(80);2号换热中心(76)设有高温气体进口(68)、低温气体出口(69)、一级换热器(91)、二级换热器(92)、三级换热器(93)、一级氢气换热器(94)、二级氢气换热器(82)、膨胀机中间再热器(81)、2号换热器(16)、3号换热器(17)和冷却器(74);高温气体进口(68)依次通过一级换热器(91)、二级换热器(92)和三级换热器(93)连接到冷却器(74),低温气体出口(69)位于冷却器(74)的出口;膨胀机组设有3台膨胀机(14)或一台组合式膨胀机,膨胀机组的3台膨胀机或一台组合式膨胀机、有机工质压缩机(84)、有机工质膨胀机(85)与发电机(15)同轴连接,3台膨胀机的中间段分别与膨胀机中间再热器循环连接;每组升压床结构分别设有1号氢反应床(A)、2号氢反应床(B)、3号氢反应床(C)、缓冲罐(83)和氢气泵(95),1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床均添加有金属氢化物,各组升压床结构的型式、结构以及金属储氢材料的种类和载量相同或不同,每组升压床结构内的各个氢反应床的型式、结构以及金属储氢材料的种类和载量相同或不同,1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床分别设有换热介质入口(87)、换热介质出口(42)、低压氢气入口(108)和高压氢气出口(109),高压氢气出口设有(106)和阀门(67),过滤膜只允许氢气通过,低压氢气入口设有阀门;高压氢气出口(109)连接到膨胀机的入口,膨胀机的出口通过缓冲罐(83)连接低压氢气入口(108);第一组升压床结构的1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的换热介质出口(42)分别连接到三通阀(61),三通阀一路出口经氢气泵(95)、一级换热器(91)和三通阀连接到换热介质入口(87),另一路经氢气泵(95)、一级氢气换热器(94)和三通阀连接到换热介质入口;第二组升压床结构的1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的换热介质出口分别连接到四通阀(90),四通阀一路出口经氢气泵(95)、二级换热器(92)和四通阀连接到换热介质入口,一路经氢气泵(95)、一级氢气换热器(94)和四通阀连接到换热介质入口,第三路经氢气泵(95)、二级氢气换热器(82)和四通阀连接到换热介质入口;第三组升压床结构的1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的换热介质出口分别连接到四通阀(90),四通阀一路出口经氢气泵(95)、三级换热器(93)和四通阀连接到换热介质入口,一路经氢气泵(95)、二级氢气换热器(82)和四通阀连接到换热介质入口,第三路经氢气泵(95)、冷却器(74)和四通阀连接到换热介质入口;所述有机工质膨胀机(85)的出口通过冷却器(74)与有机工质压缩机(84)的入口连接,有机工质膨胀机(85)与有机工质压缩机(84)之间的循环换热介质包括氢气、氦气;所述有机工质膨胀机(85)通过循环泵、2号换热器(16)的管程连接到有机工质压缩机(84);所述2号换热器(16)的壳程通过循环泵连接到3号换热器(17)的壳程,3号换热器(17)的壳程连接到2号换热器(16)的壳程形成循环,循环换热介质包括氢气;3号换热器(17)位于高温气体进口(68)与一级换热器(91)之间、或一级换热器(91)与二级换热器(92)之间、或二级换热器(92)与三级换热器(93)之间,或者上述三个部位均设置一台换热器;反应床的罐体由金属或非金属材料制成,设置有内保温或外保温或内、外保温措施;或有机工质压缩机(84)的出口输出的换热介质在超过每组升压床放氢温度时,直接进入反应床中进行直接换热放氢,从有机工质压缩机(84)的出口输出的有机工质压力如果低于反应床放氢时的压力,采用泵或升压床升压,若采用不同于氢气的有机换热介质,则采用过滤膜(106)分离处理;升压床结构的形式、组数或级数能够调节,利用高温气体的热量,包括高温气体的显热和其中水蒸汽的冷凝热,加热金属氢化物放出高压氢气,高压氢气推动膨胀机做功;或复合式柯来浦单元作为升压床形式使用,把高压氢气加到氢燃料发动机的氢气口进行直喷,同

时从氢气气源出来的氢气进入复合式柯来浦单元进行吸氢；连接各个设备、单元的管道均可设置有内保温或外保温或内、外保温措施；升压床结构的形式、组数或级数能够调节，利用高温气体的热量，加热金属氢化物放出高压氢气，高压氢气推动膨胀机做功；所述换热中心使用常规换热器或由高导热合金材料3D打印制成的换热装置，以降低设备体积及重量。

3. 一种氧气直喷纯氢燃烧内燃机动力系统，其特征是：所述动力系统设有氢气气源、氧气气源、尾气余热利用单元，所述尾气余热利用单元为I型改进式柯来浦单元，氢燃料发动机的出口增设I型改进式柯来浦单元，I型改进式柯来浦单元包括2号换热中心(76)、升压床结构、低压氢气缓冲罐(56)、高压氢气缓冲罐(57)、低压氢气循环泵(66)、氢气泵(95)、有机工质压缩机(84)、有机工质膨胀机(85)、发电机(15)和蓄电池(139)；I型改进式柯来浦单元设有氢气检测器(101)，I型改进式柯来浦单元的外部包有充氮密封保护罩(80)；升压床结构为单级或多级；每组升压床结构分别设有1号氢反应床(A)、2号氢反应床(B)和3号氢反应床(C)，1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床均添加有金属氢化物，各组升压床结构的型式、结构以及金属储氢材料的种类和载量相同或不同，每组升压床结构内的各个氢反应床的型式、结构以及金属储氢材料的种类和载量相同或不同；1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床设有换热介质入口(87)、换热介质出口(42)、低压氢气入口(108)和高压氢气出口(109)，换热介质入口(87)、换热介质出口(42)、低压氢气入口(108)和高压氢气出口(109)分别设有阀门(67)；有机工质压缩机(84)、有机工质膨胀机(85)与发电机(15)同轴连接，发电机输出电路一路连接到蓄电池(139)，一路连接到外部电力系统；有机工质压缩机(84)设有电力驱动设备，用于开机时暖机运行，电力驱动设备与蓄电池(139)电路连接；乏蒸汽管路连接到2号换热中心(76)的凝汽器，凝汽器水出口连接到凝结水管路；有机工质膨胀机(85)的出口连接到2号换热中心(76)，2号换热中心(76)连接到有机工质压缩机(84)的入口；有机工质压缩机(84)的出口通过高压氢气缓冲罐(57)分别连接到1号氢反应床(A)、2号氢反应床(B)和3号氢反应床(C)的换热介质入口(87)；1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的换热介质出口(42)通过氢气泵(95)连接到有机工质膨胀机(85)的入口，有机工质膨胀机85的中段出口通过低压氢气缓冲罐(56)、低压氢气循环泵(66)和四通阀(90)连接到1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的低压氢气入口(108)，1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的高压氢气出口(109)连接到有机工质膨胀机(85)的出口；有机工质压缩机(84)出口压力与氢反应床压力不一样时，增设一台膨胀机与有机工质压缩机(84)同轴，氢反应床出口氢气直接进增设的膨胀机，做功后返回氢反应床吸氢，有机工质压缩机(84)出口高温氢气与氢反应床间接换热。

4. 一种氧气直喷纯氢燃烧内燃机动力系统，其特征是：所述动力系统设有氢气气源、氧气气源、尾气余热利用单元，所述尾气余热利用单元为II型改进式柯来浦单元，氢燃料发动机的出口增设II型改进式柯来浦单元，II型改进式柯来浦单元包括2号换热中心(76)、升压床结构、低压氢气缓冲罐(56)、高压氢气缓冲罐(57)、级间换热器(140)、低压氢气循环泵(66)、氢气泵(95)、有机工质压缩机(84)、有机工质膨胀机(85)、发电机(15)、蓄电池(139)、蒸汽管路和凝结水管路；II型改进式柯来浦单元设有氢气检测器(101)，II型改进式柯来浦单元的外部包有充氮密封保护罩(80)；升压床结构为单级或多级；每组升压床结构包括1号氢反应床(A)、2号氢反应床(B)和3号氢反应床(C)，1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床均添加有金属氢化物，各组升压床结构的型式、结构以及金属储氢材料的种类和载量相

同或不同,每组升压床结构内的各个氢反应床的型式、结构以及金属储氢材料的种类和载量相同或不同;1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床设有换热介质入口(87)、换热介质出口(42)、低压氢气入口(108)和高压氢气出口(109),换热介质入口(87)、换热介质出口(42)、低压氢气入口(108)和高压氢气出口(109)分别设有阀门(67);有机工质压缩机(84)、有机工质膨胀机(85)与发电机(15)同轴连接,发电机输出电路一路连接到蓄电池(139),一路连接到外部电力系统;有机工质压缩机(84)设有电力驱动设备,用于开机时暖机运行,电力驱动设备与蓄电池(139)电路连接;乏蒸汽管路连接到2号换热中心(76)的凝汽器,凝汽器水出口连接到凝结水管路;有机工质膨胀机85的出口连接到2号换热中心(76),2号换热中心(76)连接到有机工质压缩机(84)的入口;

有机工质压缩机(84)的出口通过高压氢气缓冲罐(57)和三通阀(61)分别连接到一级升压床结构的1号氢反应床(A)、2号氢反应床(B)和3号氢反应床(C)的换热介质入口(87);一级升压床结构的1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的换热介质出口(42)通过级间换热器(140)的管程和三通阀(61)连接到一级升压床结构的1号氢反应床(A)、2号氢反应床(B)和3号氢反应床(C)的换热介质入口(87);二级升压床结构的1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的换热介质入口(87)与级间换热器(140)的壳程出口连接,二级升压床结构的1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的换热介质出口(42)通过三通阀(61)、氢气泵(95)连接到级间换热器(140)的壳程入口,三通阀(61)的另一口分为两路,一路连接到有机工质膨胀机(85)的下部入口,另一路通过低压氢气循环泵(66)和四通阀(90)连接到一级升压床结构的1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的低压氢气入口(108);一级升压床结构的1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的高压氢气出口(109)连接到二级升压床结构的1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的换热介质入口(87);有机工质膨胀机(85)的中段出口通过低压氢气缓冲罐(56)和四通阀(90)连接到二级升压床结构的1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的低压氢气入口(108);二级升压床结构的1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的高压氢气出口(109)通过高压氢气缓冲罐(57)连接到有机工质膨胀机(85)的入口。

5. 一种氧气直喷纯氢燃烧内燃机动力系统,其特征是:所述动力系统设有氢气气源、氧气气源、尾气余热利用单元,所述尾气余热利用单元为Ⅲ型改进式柯来浦单元,氢燃料发动机的出口增设Ⅲ型改进式柯来浦单元,Ⅲ型改进式柯来浦单元包括2号换热中心(76)、升压床结构、低压氢气缓冲罐(56)、一级膨胀机(96)、二级膨胀机(97)、1号介质换热器(142)、2号介质换热器(143)、3号介质换热器(98)、级间换热器(140)、低压氢气循环泵(66)、氢气泵(95)、有机工质压缩机(84)、有机工质膨胀机(85)、发电机(15)、蓄电池(139)、蒸汽管路和凝结水管路;Ⅲ型改进式柯来浦单元设有氢气检测器(101),Ⅲ型改进式柯来浦单元的外部包有充氮密封保护罩(80);升压床结构为单级或多级;每组升压床结构分别包括1号氢反应床(A)、2号氢反应床(B)和3号氢反应床(C),1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床均添加有金属氢化物,各组升压床结构的型式、结构以及金属储氢材料的种类和载量相同或不同,每组升压床结构内的各个氢反应床的型式、结构以及金属储氢材料的种类和载量相同或不同;1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床设有换热介质入口(87)、换热介质出口(42)、低压氢气入口(108)和高压氢气出口(109),高压氢气出口设有过滤膜(106)和阀门(67),低压氢气入口(108)设有阀门(67);一级膨胀机(96)、二级膨胀机(97)、有机工质压缩

机(84)、有机工质膨胀机(85)和发电机(15)同轴连接,发电机输出电路一路连接到蓄电池(139),一路连接到外部电力系统;有机工质压缩机(84)设有电力驱动设备,用于开机时暖机运行,电力驱动设备与蓄电池(139)电路连接;乏蒸汽管路连接到2号换热中心(76)的凝汽器,凝汽器水出口连接到凝结水管路;有机工质膨胀机(85)的出口连接到2号换热中心(76),2号换热中心(76)连接到有机工质压缩机(84)的入口;有机工质膨胀机(85)设有中段抽出口和中段入口;有机工质压缩机(84)的出口依次通过3号介质换热器(98)和1号介质换热器(142)的壳程连接到有机工质膨胀机(85)的入口,循环介质为二氧化碳、氢气或氮气;有机工质膨胀机(85)的中段抽出口通过2号介质换热器(143)的壳程连接到有机工质膨胀机(85)的中段入口;一级膨胀机(96)的出口连接到低压氢气缓冲罐(56),低压氢气缓冲罐通过一级升压床结构的1号氢反应床(A)、2号氢反应床(B)和3号氢反应床(C)连接到一级膨胀机(96)的入口;二级膨胀机(97)的出口连接到低压氢气缓冲罐(56),低压氢气缓冲罐通过二级升压床结构的1号氢反应床(A)、2号氢反应床(B)和3号氢反应床(C)连接到二级膨胀机(97)的入口;一级升压床结构的1号氢反应床(A)、2号氢反应床(B)和3号氢反应床(C)的换热介质出口(42)通过三通阀(61)分为两路,一路经3号介质换热器(98)的管程、氢气泵(95)和三通阀连接到1号氢反应床(A)、2号氢反应床(B)和3号氢反应床(C)的换热介质入口(87),另一路经级间换热器(140)、低压氢气循环泵(66)和三通阀连接到1号氢反应床(A)、2号氢反应床(B)和3号氢反应床(C)的换热介质入口(87);二级升压床结构的1号氢反应床(A)、2号氢反应床(B)和3号氢反应床(C)的换热介质出口(42)连接到四通阀(90)分为三路,一路经氢气泵(95)、1号介质换热器(142)的管程和四通阀连接到1号氢反应床(A)、2号氢反应床(B)和3号氢反应床(C)的换热介质入口(87);一路经低压氢气循环泵(66)和2号介质换热器(143)的管程和四通阀连接到1号氢反应床(A)、2号氢反应床(B)和3号氢反应床(C)的换热介质入口(87);一路经氢气泵(95)和级间换热器(140)的管程和四通阀连接到1号氢反应床(A)、2号氢反应床(B)和3号氢反应床(C)的换热介质入口(87)。

6.一种氧气直喷纯氢燃烧内燃机动力系统,其特征是:所述动力系统设有氢气气源、氧气气源、尾气余热利用单元和氢燃料发动机,所述氢气气源为氢化镁储罐(1),所述氢化镁储罐(1)由罐体(135)、罐体外部的保温层(137)组成,罐体的内部设有喷水管路(134);所述罐体的上部设有压力传感器(71)、防爆阀(72)、氢气出口(73)、水气入口和温度传感器(72),所述罐体的下部设有添加抽出口(18),所述添加抽出口设有带密码锁的截止阀(110);所述罐体(135)为金属材料、非金属材料或以上两者的组合材料;所述氢化镁储罐设有导热介质入口(138),水气入口管设有伴热管路(105),所述伴热管路入口设有水过滤膜(33),所述氢气出口(73)设有氢气过滤膜(2)。

7.根据权利要求6所述的一种氧气直喷纯氢燃烧内燃机动力系统,其特征是:所述动力系统还包括加压泵(12)、气液分离器(9)、氢气提纯单元(86)、冷却水箱(30)、循环水箱(102)、2号气液分离器(104)和高压氧气缓冲罐(59);气液分离器的气体出口设有气体过滤膜(10),循环水箱(102)设有润滑剂添加口(103)和排水口,排水口设有润滑剂过滤膜,排水口经润滑剂过滤膜、回水泵(60)连接到冷却水箱(30);氢气提纯单元(86)的气体出口设有氢气分离膜(100);所述氢化镁储罐(1)的氢气出口与低压氢气缓冲罐(56)连接,所述低压氢气缓冲罐出口分为两路,一路连接到氢气口,一路连接到尾气余热利用单元,尾气余热利用单元通过换热氢气管路连接到氢化镁储罐;气缸的排气孔(41)通过尾气膨胀机(79)或涡

轮增压单元(58)连接到三元催化器(7),三元催化器出口通过尾气余热利用单元或凝汽器(99)连接到气液分离器(9);所述气液分离器的气体出口通过氢气提纯单元(86)连接到氢化镁储罐(1)的水气入口;所述冷却水箱出口分为四路,一路通过循环冷却水管线(31)连接到气缸的夹套,气缸的夹套出口通过凝汽器(99)或尾气余热利用单元连接到冷却水箱;一路连接到氢化镁储罐(1)的水气入口;一路通过尾气冷凝水循环管(19)连接到变压吸附制氧机(4)的氧气出口,接口设有水过滤膜(33);一路连接到循环水箱(102),循环水箱的入水口设有水过滤膜(33);所述氢燃料发动机的水底壳(6)下部出口通过三通阀(61)连接到2号气液分离器(104),所述2号气液分离器的气体出口连接到氢气提纯单元(86),液体出口连接到循环水箱(102),所述循环水箱通过补水管(11)和三通阀连接到水底壳;所述尾气余热利用单元为复合式柯来浦单元或柯来浦单元,所述氢化镁储罐(1)通过氢气过滤膜(2)与复合式柯来浦单元或柯来浦单元内的冷却器(74)循环连接,所述氢气过滤膜(2)只允许氢气通过,所述氢燃料发动机的夹套与冷却器(74)循环连接。

8. 根据权利要求6所述的一种氧气直喷纯氢燃烧内燃机动力系统,其特征是:所述系统设有尾气膨胀机(79)和凝汽器(99),气缸的尾气出口通过尾气膨胀机(79)连接到三元催化器(7),所述三元催化器的尾气出口分为两路,一路连接到凝汽器(99)的高温尾气入口,另一路经升压床(3)连接到凝汽器的低温尾气入口;所述凝汽器连接到气液分离器(9),所述凝汽器与柯来浦单元或复合式柯来浦单元循环连接。

9. 根据权利要求7所述的一种氧气直喷纯氢燃烧内燃机动力系统,其特征是:所述氧气气源为变压吸附制氧机(4),所述涡轮增压单元(58)包括涡轮机(64)和压气机(63),涡轮机与压气机同轴连接;所述变压吸附制氧机的氧气出口通过涡轮增压单元的压气机(63)连接到加压泵(12),所述气缸的排气孔(41)通过涡轮增压单元的涡轮机(64)连接到三元催化器(7)。

10. 根据权利要求7所述的一种氧气直喷纯氢燃烧内燃机动力系统,其特征是:所述氧气气源为变压吸附制氧机(4),所述涡轮增压单元包括涡轮机(64)、压气机(63)和二级涡轮机(107),涡轮机(64)、压气机(63)和二级涡轮机(107)同轴连接;所述氢化镁储罐(1)的氢气出口与低压氢气缓冲罐(56)连接,低压氢气缓冲罐出口通过升压床(3)、高压氢气缓冲罐(57)和涡轮增压单元(58)的二级涡轮机(107)连接到气缸的进气孔(37);所述变压吸附制氧机的氧气出口通过涡轮增压单元的压气机(63)连接到高压氧气缓冲罐(59),所述气缸的排气孔(41)通过涡轮增压单元的涡轮机(64)连接到三元催化器(7)。

11. 根据权利要求6所述的一种氧气直喷纯氢燃烧内燃机动力系统,其特征是:所述系统设置升压床(3),升压床(3)是在低温下吸收低压氢气并在高温下放出高压氢气的氢气热压缩设备;升压床设置有多台氢反应床,根据氢反应床包括吸氢温度、吸氢压力、放氢温度、放氢压力的工作参数,升压床分为单级或多级升压床;多台氢反应床均在相同的工作参数下运行的为单级升压床,多台氢反应床分为多组在不同的工作参数下运行的为多级升压床;单级升压床(3)包括换热器(49)、换热中心(55)、1号氢反应床(A)、2号氢反应床(B)和3号氢反应床(C);所述1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床均添加有金属氢化物,分别设有换热介质入口(87)、换热介质出口(42)、低压氢气入口(108)和高压氢气出口(109),所述换热介质入口(87)、换热介质出口(42)和高压氢气出口(109)设有阀门(67),高压氢气出口(109)设有过滤膜(106),低压氢气入口(108)设有三通阀(61);换热器的换热介质出口分

别与1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的换热介质入口(87)连接,1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的换热介质出口(42)分别通过高压氢气循环泵(65)与换热器的换热介质入口连接;所述换热介质包括氢气、惰性气体或性质稳定的液体和气体;1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的高压氢气出口(109)与换热中心(55)连接,换热中心出口通过低压氢气循环泵(66)连接到低压氢气管线(52),低压氢气管线分别通过三通阀(61)与1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的低压氢气入口(108)连接;三通阀的另一接口通过高压氢气管线(51)连接到高压氢气总出口(53),低压氢气总进口(54)连接到低压氢气循环泵(66)的入口;升压床的氢气来源于氢化镁储罐内氢化镁与水反应产生的低压氢气,在氢反应床加压后,高压氢气用于进入气缸作为燃料使用。

12. 根据权利要求6所述的一种氧气直喷纯氢燃烧内燃机动力系统,其特征是:氢燃料发动机的各运转部件的润滑采用多种形式,或润滑油、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;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剂;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;在活塞环、活塞与气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;另一种形式是在气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;所述活塞环、活塞与气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,所述活塞环、活塞与气缸壁上的出气方向或为垂直喷出润滑介质;缸壁或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;或氢燃料发动机的各运转部件采用传统润滑形式,包括油底壳润滑和机油系统,活塞环、活塞与气缸壁之间采用传统润滑形式;所有升压床和柯来浦单元的氢反应床或采用外部换热、或抽出金属储氢材料换热模式;氢反应床金属氢化物吸氢放氢的供氢方式,与管道氢气、氢化镁储罐罐装氢气结合使用,对于压力不高的管道氢气通过升压床提高压力,对于罐装氢气随着使用压力逐渐降低,通过金属氢化物与水反应放出稳定压力的氢气弥补压力下降的不足。

13. 根据权利要求6所述的一种氧气直喷纯氢燃烧内燃机动力系统,其特征是:所述氢化镁储罐(1)中的氢化镁的更换采用氢化镁更换装置的形式,氢化镁更换装置将使用过的氢化镁储罐中的以氢氧化镁为主的所有物质安全快捷的输送出来,并同样安全快捷地将颗粒状或粉状氢化镁注入氢化镁储罐中,同时准确快速的进行计量;氢化镁更换装置采用机械输送、气体输送或液体输送更换形式,能够实现计量准确、安全输送出氢氧化镁为主的使用过的物质或输送进氢化镁为主的物质进入氢化镁储罐目的,所述氢化镁更换装置包括分离罐(114)、氢氧化镁罐(115)、余氢吸收单元(116)、真空罐(117)、保护气压缩机(119)、高压保护气罐(120)、氢化镁罐(123)、供料器(124)、抽出计量仪(126)、添加计量仪(127)和加注枪(111);所述加注枪设有密封圈(113)和锁紧法兰(112),所述氢化镁储罐(1)的添加抽出口(18)设有带密码锁的截止阀(110),加注枪通过锁紧法兰与氢化镁储罐的添加抽出口(18)密封连接;所述加注枪设进料-出料口,进料-出料口通过添加-抽料共用管路(125)和



抽出管路(122)连接到分离罐,分离罐的固体出口通过抽出计量仪(126)连接到氢氧化镁罐,分离罐的气体出口通过余氢吸收单元(116)连接到真空罐(117),所述真空罐通过单向阀(39)和保护气压缩机(119)连接到高压保护气罐(120);高压保护气罐(120)出口分为两路,一路连接到供料器(124),一路通过保护气管路(121)连接到加注枪的保护气入口;所述氢氧化镁罐(123)通过供料器(124)、添加计量仪(127)、添加管路(128)和添加-抽料共用管路(125)连接到加注枪(111)的进料-出料口;所述氢氧化镁储罐(1)中的氢氧化镁更换或采用小容器输送的方式,将氢氧化镁装在各类形状相同或不同的小容器中,并把装载有氢氧化镁的小容器输送到氢氧化镁储罐内,水可以进入小容器中,水与小容器中的氢氧化镁反应放出氢气,氢气从小容器中进入氢氧化镁储罐供系统使用,当小容器中氢氧化镁与水反应放氢结束后,把装载有以氢氧化镁为主的剩余物的小容器输送到氢氧化镁罐(115)中;氢氧化镁储罐(1)中的氢氧化镁更换或采用小容器输送的另一种方式,将氢氧化镁装在各类形状相同或不同的小容器中,并把装载有氢氧化镁的小容器输送到氢氧化镁储罐,将小容器中的氢氧化镁倒入氢氧化镁罐内,氢氧化镁储罐(1)中的氢氧化镁反应放氢后,以氢氧化镁为主的剩余物的更换采用小容器输送的方式,将以氢氧化镁为主的剩余物装在小容器中,并把装载有以氢氧化镁为主的剩余物的小容器输送到氢氧化镁罐(115),将小容器中以氢氧化镁为主的剩余物倒入氢氧化镁罐(115)内;或所述氢氧化镁储罐(1)中的氢氧化镁的更换采用氢氧化镁储罐整体更换的方式。

14. 根据权利要求6所述的一种氧气直喷纯氢燃烧内燃机动力系统,其特征是:制氧设备除采用变压吸附制氧机外,氧气或采用包括空气深冷分离、电解水方法制取;所述动力系统内连接各个设备和单元的管道均设置内保温或外保温或内、外保温措施;各类膜或用相应的分离器代替;进入氢燃料发动机水底壳(6)的包括氢气的气体介质通过三通阀(61)、2号气液分离器(104)到氢气提纯单元(86);发动机气缸停止工作时,水底壳的水保留在水底壳内,或通过三通阀、2号气液分离器(104)进入循环水箱(102),由回水泵(60)将水打回冷却水箱;发动机气缸启动时,通过泵与补水管(11)将循环水箱(102)内带有润滑剂的水通过三通阀(61)再打入水底壳(6);所述水底壳的润滑介质包括水、含有润滑剂的水;所述动力系统还包括小冲程高频发动机,所述小冲程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;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,燃料常压储存和常压使用,氢气燃料以固体氢化物形式装载,大部分时间以固体形式出现,安全便利;发动机冷机时用点火器点火,热机时自点火,采用复合式柯来浦单元吸收全部的冷凝热;氢反应床除采用氢气直接进入加热放氢外,或采用外部换热或抽出金属储氢材料换热模式。

15. 根据权利要求7所述的氧气直喷纯氢燃烧内燃机动力系统,其特征在于,所述氢燃料发动机设有气缸(5)、缸盖(40)和曲轴箱(35),气缸上设有火花塞(36)、氢气口或/和氧气喷嘴(34),气缸上还设有排气孔(41),所述氢燃料发动机包括两冲程氢燃料发动机、四冲程氢燃料发动机和小冲程高频发动机;所述两冲程氢燃料发动机和四冲程氢燃料发动机采用单缸或多缸运行模式,所述小冲程高频发动机由任意缸数的氢气燃烧缸和/或任意缸数的尾气膨胀缸组成,包括四缸小冲程高频发动机和六缸小冲程高频发动机;所述两冲程氢燃料发动机的氢气口为氢气喷嘴(13)或/和进气孔(37),所述四冲程氢燃料发动机的氢气口为进气口(38),所述小冲程高频发动机的氢气口为氢气喷嘴(13);所述两冲程氢燃料发动机包括气缸(5)、缸盖(40)和曲轴箱(35),气缸盖上设有火花塞(36)、氢气喷嘴(13)和氧气

喷嘴(34),气缸壁设有进气孔(37)和排气孔(41);曲轴箱内设有曲轴(45),气缸内设有活塞(43),活塞通过连杆(44)与曲轴连接;所述四冲程氢燃料发动机包括气缸(5)和曲轴箱(35),气缸的顶部设有氧气喷嘴(34)、火花塞(36)、进气口(38)和排气孔(41),曲轴箱(35)内设有曲轴(45),气缸内为燃烧室(46),气缸设有活塞(43),活塞通过连杆(44)与曲轴连接。

16.根据权利要求15所述的氧气直喷纯氢燃烧内燃机动力系统,其特征是:所述小冲程高频发动机包括气缸(5)、曲轴箱、水底壳(6)、稳压器(132)和排气通道(89),所述稳压器上设有加水口(133),水通过加水口进入稳压器中与高温尾气直接接触换热并全部转化为水蒸汽;所述小冲程高频发动机的各个缸体的排气口与排气通道连通,排气通道(89)通过稳压器(132)连接到尾气膨胀机(79)的入口,所述排气通道的外部设有冷却水套(88);所述曲轴箱内设有曲轴(45),每个气缸内设有活塞(43),活塞通过连杆(44)与曲轴连接;曲轴一头与发电机同轴连接,另一头通过一级减速器(77)与尾气膨胀机(79)连接,尾气膨胀机的另一头通过二级减速器(78)与发动机的尾气余热利用单元(8)内预设的膨胀机(14)连接;所述小冲程高频发动机包括连杆和曲轴传动机构、齿轮传动、液压传动、气力传动,把小冲程发动机气缸产生的动力有效输出;小冲程高频发动机和尾气余热利用单元(8)以发电形式输出功或以机械传动形式输出功。

17.根据权利要求15所述的氧气直喷纯氢燃烧内燃机动力系统,其特征是:所述小冲程高频发动机包括气缸(5)、曲轴箱、水底壳(6)和排气通道(89);所述小冲程高频发动机的前部至少一个气缸为氢气燃烧缸,所述氢气燃烧缸的上部和下部分别设有氢气喷嘴(13)和氧气喷嘴(34),所述气缸为尾气膨胀缸,尾气膨胀缸的上部和下部分别设有尾气喷口(130)、氧气和水喷口(131);曲轴箱内设有曲轴(45),每个气缸内设有活塞(43),活塞通过连杆(44)与曲轴连接,曲轴与发动机的尾气余热利用单元(8)内预设的膨胀机(14)连接;所述小冲程高频发动机尾气膨胀缸的排气口与排气通道(89)连通,所述排气通道(89)出口通过涡轮增压单元(58)的涡轮机(64)连接到三元催化器(7)。

18.根据权利要求1-6中任一项所述的氧气直喷纯氢燃烧内燃机动力系统,其特征在于,所述氢燃料发动机设有气缸(5)、缸盖(40)和曲轴箱(35),气缸上设有火花塞(36)、氢气口和氧气喷嘴(34),气缸上还设有排气孔(41),所述氢气口为设置在缸盖上的氢气喷嘴(13)或/和设置在缸盖上的进气口(38)或/和设置在气缸上的进气孔(37),氧气喷嘴与氢气喷嘴的结构和运行过程相同;所述氢气喷嘴(13)由外壳、集气室(28)、喷嘴喷孔(26)和气体通道(25)构成,所述气体通道穿过集气室连通到喷嘴喷孔;所述气体通道的上部装有弹簧(20),下部装有空心柱塞(23),气体通道的集气室段管壁设有柱塞喷孔(27);所述集气室上部设有柱塞上气体轴承(22),下部设有柱塞下气体轴承(21),所述空心柱塞设有柱塞限位器(24),所述外壳的壳体上设有电磁线圈(29),所述柱塞限位器与电磁线圈配合安装。

19.根据权利要求15所述的氧气直喷纯氢燃烧内燃机动力系统,其特征是:所述氢燃料发动机具有水底壳、或传统的油底壳及机油系统,所述小冲程高频发动机具有全氧气、自点火、尾气高温高压排放、小冲程、高频率、冷凝热全回收、自保护、燃料高进给量和高柯来浦系数的优点;在燃烧室充满燃料并点火后,活塞运行在上止点和下止点之间任意位置可以打开排气孔排气,单次做功加入燃烧室的燃料加入量高于或远高于常规燃料量,所述常规燃料量为普通二冲程或四冲程发动机单次做功加入燃烧室的燃料量,活塞完成全行程的动

力包括利用燃料剧烈燃烧膨胀或惯性推动力,氢氧比例灵活调节,氢气过量或氧气过量,氢气过量时排气中不含多余的氧气,通过氢气过量进行燃烧室温度和压力的调节;或从氧气喷嘴(34)加入液态水,或设置单独的喷水口加入液态水,调节燃烧室的温度和压力;所述小冲程高频发动机是指采用等于或小于两冲程,也不排除四冲程,并且活塞运行在上止点和下止点之间任意位置打开排气孔排气的发动机,在保护发动机机件正常运行的情况下,采用高的氢燃料进给量,活塞以高频率高效运行,也称为安氢发动机,所述安氢发动机是指氢气燃料以固体氢化物形式装载、大部分时间以固体形式出现的、使用安全氢气燃料的发动机。

## 一种氧气直喷纯氢燃烧发动机及其动力系统

### 技术领域

[0001] 本发明属于新能源发动机技术领域,涉及一种节能环保的氧气直喷纯氢燃烧内燃机动力系统。

### 背景技术

[0002] 能源短缺、环境污染、全球气候变化,令开发清洁、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,氢电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氧气直喷纯氢燃烧内燃机动力系统,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] 本发明的技术方案是:一种氧气直喷纯氢燃烧发动机,氢燃料发动机设有气缸、缸盖、曲轴箱,缸盖上设有火花塞、氢气口或/和氧气喷嘴,气缸上还设有排气孔,氢燃料发动机包括两冲程氢燃料发动机、四冲程氢燃料发动机和小冲程高频发动机;两冲程氢燃料发动机和四冲程氢燃料发动机采用单缸或多缸运行模式,小冲程高频发动机由任意缸数的氢气燃烧缸和/或任意缸数的尾气膨胀缸组成,包括四缸小冲程高频发动机和六缸小冲程高频发动机;两冲程氢燃料发动机的氢气口为氢气喷嘴或/和进气孔,四冲程氢燃料发动机的氢气口为进气口,所述小冲程高频发动机的氢气口为氢气喷嘴;两冲程氢燃料发动机包括气缸、缸盖和曲轴箱,气缸盖上设有火花塞、氢气喷嘴和氧气喷嘴,气缸壁设有进气孔和排气孔;曲轴箱内设有曲轴,气缸内设有活塞,活塞通过连杆与曲轴连接;四冲程氢燃料发动机包括气缸和曲轴箱,气缸的顶部设有氧气喷嘴、火花塞、进气口和排气孔,曲轴箱内设有曲轴,气缸内为燃烧室,气缸设有活塞,活塞通过连杆与曲轴连接。

[0006] 所述小冲程高频发动机包括气缸、曲轴箱、水底壳、稳压器和排气通道,所述稳压器上设有加水口,水通过加水口进入稳压器中与高温尾气直接接触换热并全部转化为水蒸汽;所述小冲程高频发动机的各个缸体的排气口与排气通道连通,排气通道通过稳压器连接到尾气膨胀机的入口,所述排气通道的外部设有冷却水套;所述曲轴箱内设有曲轴,每个气缸内设有活塞,活塞通过连杆与曲轴连接;曲轴一头与发电机同轴连接,另一头通过一级减速器与尾气膨胀机连接,尾气膨胀机的另一头通过二级减速器与发动机的尾气余热利用单元内预设的膨胀机连接;所述小冲程高频发动机包括连杆和曲轴传动机构、齿轮传动、液压传动、气力传动,把小冲程发动机气缸产生的动力有效输出;小冲程高频发动机和尾气余热利用单元以发电形式输出功或以机械传动形式输出功。

[0007] 另一种形式,所述小冲程高频发动机包括气缸、曲轴箱、水底壳和排气通道;所述小冲程高频发动机的前部至少一个气缸为氢气燃烧缸,氢气燃烧缸的上部和下部分别设有氢气喷嘴和氧气喷嘴,所述后部气缸为尾气膨胀缸,尾气膨胀缸的上部和下部分别设有尾气喷口、氧气和水喷口;曲轴箱内设有曲轴,每个气缸内设有活塞,活塞通过连杆与曲轴连接,曲轴与发动机的尾气余热利用单元内预设的膨胀机连接;小冲程高频发动机尾气膨胀缸的排气口与排气通道连通,排气通道出口通过涡轮增压单元的涡轮机连接到三元催化器。

[0008] 一种氧气直喷纯氢燃烧发动机,氢燃料发动机设有气缸、缸盖和曲轴箱,气缸上设有火花塞、氢气口和氧气喷嘴,气缸上还设有排气孔,氢气口为设置在缸盖上的氢气喷嘴或/和设置在缸盖上的进气口或/和设置在气缸上的进气孔,氧气喷嘴与氢气喷嘴的结构和运行过程相同;所述氢气喷嘴由外壳、集气室、喷嘴喷孔和气体通道构成,气体通道穿过集气室连通到喷嘴喷孔;气体通道的上部装有弹簧,下部装有空心柱塞,气体通道的集气室段管壁设有柱塞喷孔;所述集气室上部设有柱塞上气体轴承,下部设有柱塞下气体轴承,所述空心柱塞设有柱塞限位器,所述外壳的壳体上设有电磁线圈,所述柱塞限位器与电磁线圈配合安装。

[0009] 所述氧气直喷纯氢燃烧发动机具有水底壳、或传统的油底壳及机油系统,所述小冲程高频发动机具有全氧气、自点火、尾气高温高压排放、小冲程、高频率、冷凝热全回收、自保护、燃料高进给量和高柯来浦系数的优点;在燃烧室充满燃料并点火后,活塞运行在上止点和下止点之间任意位置可以打开排气孔排气,单次做功加入燃烧室的燃料加入量高于或远高于常规燃料量,所述常规燃料量为普通二冲程或四冲程发动机单次做功加入燃烧室的燃料量,活塞完成全行程的动力包括利用燃料剧烈燃烧膨胀或惯性推动力,氢氧比例灵活调节,氢气过量或氧气过量,氢气过量时排气中不含多余的氧气,通过氢气过量进行燃烧室温度和压力的调节;或从氧气喷嘴加入液态水,或设置单独的喷水口加入液态水,调节燃烧室的温度和压力;所述高频小冲程发动机是指采用等于或小于两冲程,也不排除四冲程,并且活塞运行在上止点和下止点之间任意位置打开排气孔排气的发动机,在保护发动机机件正常运行的情况下,采用高的氢燃料进给量,活塞以高频率高效运行,也称为安氢发动机,所述安氢发动机是指氢气燃料以固体氢化物形式装载、大部分时间以固体形式出现的、使用安全氢气燃料的发动机。

[0010] 一种氧气直喷纯氢燃烧内燃机动力系统,所述动力系统设有氢气气源、氧气气源、尾气余热利用单元、加压泵、气液分离器、氢气提纯单元、冷却水箱、循环水箱、2号气液分离

器和高压氧气缓冲罐；气液分离器的气体出口设有气体过滤膜，循环水箱设有润滑剂添加口和排水口，排水口设有润滑剂过滤膜，排水口经润滑剂过滤膜、回水泵连接到冷却水箱；氢气提纯单元的气体出口设有氢气分离膜；氢气气源与氢气口连接，氧气气源通过通过涡轮增压单元或/和加压泵连接到高压氧气缓冲罐，高压氧气缓冲罐连接到氧气喷嘴；气缸的排气孔通过尾气膨胀机或涡轮增压单元连接到三元催化器，三元催化器出口通过尾气余热利用单元或凝汽器连接到气液分离器；气液分离器的气体出口通过氢气提纯单元连接到氢气气源；气液分离器的水出口通过单向阀连接到冷却水箱；冷却水箱出口分为三路，一路通过循环冷却水管线连接到气缸的夹套，气缸的夹套出口通过凝汽器或尾气余热利用单元连接到冷却水箱；一路通过尾气冷凝水循环管连接到氧气气源的氧气出口，接口设有水过滤膜；一路连接到循环水箱，循环水箱的入水口设有水过滤膜；所述氢燃料发动机的水底壳下部出口通过三通阀连接到2号气液分离器，2号气液分离器的气体出口连接到氢气提纯单元，液体出口连接到循环水箱，循环水箱通过补水管和三通阀连接到水底壳。

[0011] 一种氧气直喷纯氢燃烧内燃机动力系统，所述动力系统设有氢气气源、空气气源、尾气余热利用单元、气液分离器、氢气提纯单元和冷却水箱；气液分离器的气体出口设有气体过滤膜；氢气提纯单元的气体出口设有氢气分离膜；所述氢气气源和空气气源共同连接到氢气口，所述气缸的排气孔通过尾气膨胀机或涡轮增压单元连接到三元催化器，三元催化器出口通过尾气余热利用单元或凝汽器连接到气液分离器；所述气液分离器的气体出口通过氢气提纯单元连接到氢气气源；所述气液分离器的水出口通过单向阀连接到冷却水箱；所述冷却水箱出口分为两路，一路通过循环冷却水管线连接到气缸的夹套，气缸的夹套出口通过凝汽器或尾气余热利用单元连接到冷却水箱；一路通过尾气冷凝水循环管连接到空气气源的出口，接口设有水过滤膜；所述氢燃料发动机设置油底壳；尾气余热利用单元的做功装置与发动机同轴或不同轴连接，利用尾气余热利用单元弥补发动机的动力不足问题。

[0012] 一种氧气直喷纯氢燃烧内燃机动力系统，所述动力系统设有氢气气源、氧气气源、尾气余热利用单元，所述尾气余热利用单元为柯来浦单元，柯来浦单元包括2号换热中心、升压床结构、膨胀机组和发电机；升压床结构为单级或多级，每增设一级升压床，2号换热中心相应增设一级换热器和一级氢气换热器；2号换热中心设有高温气体进口、低温气体出口、一级换热器、二级换热器、三级换热器、一级氢气换热器、二级氢气换热器、膨胀机中间再热器和冷却器；柯来浦单元设有氢气检测器，柯来浦单元的外部包有充氮密封保护罩；高温气体进口依次通过一级换热器、二级换热器、三级换热器和膨胀机中间再热器连接到低温气体出口；膨胀机组设有3台膨胀机或一台组合式膨胀机，3台膨胀机与发电机同轴连接，3台膨胀机的中间段分别与膨胀机中间再热器循环连接；每组升压床结构分别设有1号氢反应床、2号氢反应床、3号氢反应床、缓冲罐和氢气泵，1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床均添加有金属氢化物，各组升压床结构的型式、结构以及金属储氢材料的种类和载量相同或不同，每组升压床结构内的各个氢反应床的型式、结构以及金属储氢材料的种类和载量相同或不同，1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床分别设有换热介质入口、换热介质出口、低压氢气入口和高压氢气出口，高压氢气出口设有过滤膜和阀门，低压氢气入口设有阀门；高压氢气出口连接到膨胀机的入口，膨胀机的出口通过缓冲罐连接低压氢气入口；换热介质包括氢气、惰性气体或性质稳定的液体和气体，采用非氢气换热介质时，过滤

膜能分离氢气与非氢气换热介质,并且只能让氢气通过;第一组升压床结构的1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的换热介质出口分别连接到三通阀,三通阀一路出口经氢气泵、一级换热器和三通阀连接到换热介质入口,另一路经一级氢气换热器和三通阀连接到换热介质入口;第二组升压床结构的1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的换热介质出口分别连接到四通阀,四通阀一路出口经氢气泵、二级换热器和四通阀连接到换热介质入口,一路经氢气泵、一级氢气换热器和四通阀连接到换热介质入口,第三路经氢气泵、二级氢气换热器和四通阀连接到换热介质入口;第三组升压床结构的1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的换热介质出口分别连接到四通阀,四通阀一路出口经氢气泵、三级换热器和四通阀连接到换热介质入口,一路经氢气泵、二级氢气换热器和四通阀连接到换热介质入口,第三路经氢气泵、冷却器和四通阀连接到换热介质入口;所述氢化镁储罐通过氢气过滤膜与换热器循环连接,所述氢气过滤膜只允许氢气通过,所述氢燃料发动机的夹套与换热器循环连接;升压床结构的形式、组数或级数能够调节,利用高温气体的热量,加热金属氢化物放出高压氢气,高压氢气推动膨胀机做功;所述换热中心使用常规换热器或由高导热合金材料3D打印制成的换热装置,以降低设备体积及重量。

[0013] 一种氧气直喷纯氢燃烧内燃机动力系统,所述动力系统设有氢气气源、氧气气源、尾气余热利用单元,所述尾气余热利用单元为复合式柯来浦单元,所述复合式柯来浦单元包括2号换热中心、升压床结构、膨胀机组、有机工质压缩机、有机工质膨胀机、2号换热器、3号换热器和发电机;升压床结构为单级或多级,每增设一级升压床,2号换热中心相应增设一级换热器和一级氢气换热器;复合式柯来浦单元设有氢气检测器,复合式柯来浦单元的外部包有充氮密封保护罩;2号换热中心设有高温气体进口、低温气体出口、一级换热器、二级换热器、三级换热器、一级氢气换热器、二级氢气换热器、膨胀机中间再热器、2号换热器、3号换热器和冷却器;高温气体进口依次通过一级换热器、二级换热器和三级换热器连接到冷却器,低温气体出口位于冷却器的出口;膨胀机组设有3台膨胀机或一台组合式膨胀机,膨胀机组的3台膨胀机或一台组合式膨胀机、有机工质压缩机、有机工质膨胀机与发电机同轴连接,3台膨胀机的中间段分别与膨胀机中间再热器循环连接;每组升压床结构分别设有1号氢反应床、2号氢反应床、3号氢反应床、缓冲罐和氢气泵,1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床均添加有金属氢化物,各组升压床结构的型式、结构以及金属储氢材料的种类和载量相同或不同,每组升压床结构内的各个氢反应床的型式、结构以及金属储氢材料的种类和载量相同或不同,1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床分别设有换热介质入口、换热介质出口、低压氢气入口和高压氢气出口,高压氢气出口设有和阀门,过滤膜只允许氢气通过,低压氢气入口设有阀门;高压氢气出口连接到膨胀机的入口,膨胀机的出口通过缓冲罐连接低压氢气入口;第一组升压床结构的1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的换热介质出口分别连接到三通阀,三通阀一路出口经氢气泵、一级换热器和三通阀连接到换热介质入口,另一路经氢气泵、一级氢气换热器和三通阀连接到换热介质入口;第二组升压床结构的1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的换热介质出口分别连接到四通阀,四通阀一路出口经氢气泵、二级换热器和四通阀连接到换热介质入口,一路经氢气泵、一级氢气换热器和四通阀连接到换热介质入口,第三路经氢气泵、二级氢气换热器和四通阀连接到换热介质入口;第三组升压床结构的1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的换热介质出口分别连接到四通阀,四通阀一路出口经氢气泵、三级换热器和四通阀连接

到换热介质入口,一路经氢气泵、二级氢气换热器和四通阀连接到换热介质入口,第三路经氢气泵、冷却器和四通阀连接到换热介质入口;所述有机工质膨胀机的出口通过冷却器与有机工质压缩机的入口连接,有机工质膨胀机与有机工质压缩机之间的循环换热介质包括氢气、氦气;所述有机工质膨胀机通过循环泵、2号换热器的管程连接到有机工质压缩机;所述2号换热器的壳程通过循环泵连接到3号换热器的壳程,3号换热器的壳程连接到2号换热器的壳程形成循环,循环换热介质包括氢气;3号换热器位于高温气体进口与一级换热器之间、或一级换热器与二级换热器之间、或二级换热器与三级换热器之间,或者上述三个部位均设置一台换热器;反应床的罐体由金属或非金属材料制成,设置有内保温或外保温或内、外保温措施;或有机工质压缩机的出口输出的换热介质在超过每组升压床放氢温度时,直接进入反应床中进行直接换热放氢,从有机工质压缩机的出口输出的有机工质压力如果低于反应床放氢时的压力,采用泵或升压床升压,若采用不同于氢气的有机换热介质,则采用过滤膜分离处理;升压床结构的形式、组数或级数能够调节,利用高温气体的热量,包括高温气体的显热和其中水蒸汽的冷凝热,加热金属氢化物放出高压氢气,高压氢气推动膨胀机做功;或复合式柯来浦单元作为升压床形式使用,把高压氢气加到氢燃料发动机的氢气口进行直喷,同时从氢气气源出来的氢气进入复合式柯来浦单元进行吸氢;连接各个设备、单元的管道均可设置有内保温或外保温或内、外保温措施;升压床结构的形式、组数或级数能够调节,利用高温气体的热量,加热金属氢化物放出高压氢气,高压氢气推动膨胀机做功;所述换热中心使用常规换热器或由高导热合金材料3D打印制成的换热装置,以降低设备体积及重量。

[0014] 一种氧气直喷纯氢燃烧内燃机动力系统,所述动力系统设有氢气气源、氧气气源、尾气余热利用单元,所述尾气余热利用单元为I型改进式柯来浦单元,氢燃料发动机的出口增设I型改进式柯来浦单元,I型改进式柯来浦单元包括2号换热中心、升压床结构、低压氢气缓冲罐、高压氢气缓冲罐、低压氢气循环泵、氢气泵、有机工质压缩机、有机工质膨胀机、发电机和蓄电池;I型改进式柯来浦单元设有氢气检测器,I型改进式柯来浦单元的外部包有充氮密封保护罩;升压床结构为单级或多级;每组升压床结构分别设有1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床,1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床均添加有金属氢化物,各组升压床结构的型式、结构以及金属储氢材料的种类和载量相同或不同,每组升压床结构内的各个氢反应床的型式、结构以及金属储氢材料的种类和载量相同或不同;1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床设有换热介质入口、换热介质出口、低压氢气入口和高压氢气出口,换热介质入口、换热介质出口、低压氢气入口和高压氢气出口分别设有阀门;有机工质压缩机、有机工质膨胀机与发电机同轴连接,发电机输出电路一路连接到蓄电池,一路连接到外部电力系统;有机工质压缩机设有电力驱动设备,用于开机时暖机运行,电力驱动设备与蓄电池电路连接;乏蒸汽管路连接到2号换热中心的凝汽器,凝汽器水出口连接到凝结水管路;有机工质膨胀机的出口连接到2号换热中心,2号换热中心连接到有机工质压缩机的入口;有机工质压缩机的出口通过高压氢气缓冲罐分别连接到1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的换热介质入口。1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的换热介质出口通过氢气泵连接到有机工质膨胀机的入口,有机工质膨胀机的中段出口通过低压氢气缓冲罐、低压氢气循环泵和四通阀连接到1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的低压氢气入口,1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的高压氢气出口连接到有机工质



膨胀机的出口;有机工质压缩机出口压力与氢反应床压力不一样时,增设一台膨胀机与有机工质压缩机同轴,氢反应床出口氢气直接进增设的膨胀机,做功后返回氢反应床吸氢,有机工质压缩机出口高温氢气与氢反应床间接换热。

[0015] 一种氧气直喷纯氢燃烧内燃机动力系统,所述动力系统设有氢气气源、氧气气源、尾气余热利用单元,所述尾气余热利用单元为Ⅱ型改进式柯来浦单元,氢燃料发动机的出口增设Ⅱ型改进式柯来浦单元,Ⅱ型改进式柯来浦单元包括2号换热中心、升压床结构、低压氢气缓冲罐、高压氢气缓冲罐、级间换热器、低压氢气循环泵、氢气泵、有机工质压缩机、有机工质膨胀机、发电机、蓄电池139、蒸汽管路和凝结水管路。Ⅱ型改进式柯来浦单元设有氢气检测器,Ⅱ型改进式柯来浦单元的外部包有充氮密封保护罩。升压床结构为单级或多级;每组升压床结构包括1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床,1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床均添加有金属氢化物,各组升压床结构的型式、结构以及金属储氢材料的种类和载量相同或不同,每组升压床结构内的各个氢反应床的型式、结构以及金属储氢材料的种类和载量相同或不同;1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床设有换热介质入口、换热介质出口、低压氢气入口和高压氢气出口,换热介质入口、换热介质出口、低压氢气入口和高压氢气出口分别设有阀门。有机工质压缩机、有机工质膨胀机与发电机同轴连接,发电机输出电路一路连接到蓄电池,一路连接到外部电力系统。有机工质压缩机设有电力驱动设备,用于开机时暖机运行,电力驱动设备与蓄电池电路连接。乏蒸汽管路连接到2号换热中心的凝汽器,凝汽器水出口连接到凝结水管路。有机工质膨胀机的出口连接到2号换热中心,2号换热中心连接到有机工质压缩机的入口。

[0016] 有机工质压缩机的出口通过高压氢气缓冲罐和三通阀分别连接到一级升压床结构的1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的换热介质入口。一级升压床结构的1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的换热介质出口通过级间换热器的管程和三通阀连接到一级升压床结构的1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的换热介质入口。二级升压床结构的1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的换热介质入口与级间换热器的壳程出口连接,二级升压床结构的1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的换热介质出口通过三通阀、氢气泵连接到级间换热器的壳程入口,三通阀的另一口分为两路,一路连接到有机工质膨胀机的下部入口,另一路通过低压氢气循环泵和四通阀连接到一级升压床结构的1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的低压氢气入口。一级升压床结构的1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的高压氢气出口连接到二级升压床结构的1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的换热介质入口。有机工质膨胀机85的中段出口通过低压氢气缓冲罐和四通阀连接到二级升压床结构的1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的低压氢气入口。二级升压床结构的1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的高压氢气出口通过高压氢气缓冲罐连接到有机工质膨胀机的入口。

[0017] 一种氧气直喷纯氢燃烧内燃机动力系统,所述动力系统设有氢气气源、氧气气源、尾气余热利用单元,所述尾气余热利用单元为Ⅲ型改进式柯来浦单元,氢燃料发动机的出口增设Ⅲ型改进式柯来浦单元,Ⅲ型改进式柯来浦单元包括2号换热中心、升压床结构、低压氢气缓冲罐、一级膨胀机、二级膨胀机、1号介质换热器、2号介质换热器、3号介质换热器、级间换热器、低压氢气循环泵、氢气泵、有机工质压缩机、有机工质膨胀机、发电机、蓄电池、蒸汽管路和凝结水管路。Ⅲ型改进式柯来浦单元设有氢气检测器,Ⅲ型改进式柯来浦单元

的外部包有充氮密封保护罩。升压床结构为单级或多级；每组升压床结构分别包括1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床，1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床均添加有金属氢化物，各组升压床结构的型式、结构以及金属储氢材料的种类和载量相同或不同，每组升压床结构内的各个氢反应床的型式、结构以及金属储氢材料的种类和载量相同或不同；1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床设有换热介质入口、换热介质出口、低压氢气入口和高压氢气出口，高压氢气出口设有过滤膜和阀门，低压氢气入口设有阀门。一级膨胀机、二级膨胀机、有机工质压缩机、有机工质膨胀机和发电机同轴连接，发电机输出电路一路连接到蓄电池，一路连接到外部电力系统。有机工质压缩机设有电力驱动设备，用于开机时暖机运行，电力驱动设备与蓄电池电路连接。乏蒸汽管路连接到2号换热中心的凝汽器，凝汽器水出口连接到凝结水管路。有机工质膨胀机的出口连接到2号换热中心，2号换热中心连接到有机工质压缩机的入口。有机工质膨胀机设有中段抽出口和中段入口。

[0018] 有机工质压缩机的出口依次通过3号介质换热器和1号介质换热器的壳程连接到有机工质膨胀机的入口，循环介质为二氧化碳、氢气或氦气。有机工质膨胀机的中段抽出口通过2号介质换热器的壳程连接到有机工质膨胀机的中段入口。一级膨胀机的出口连接到低压氢气缓冲罐，低压氢气缓冲罐通过一级升压床结构的1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床连接到一级膨胀机的入口。二级膨胀机的出口连接到低压氢气缓冲罐，低压氢气缓冲罐通过二级升压床结构的1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床连接到二级膨胀机的入口。一级升压床结构的1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的换热介质出口通过三通阀分为两路，一路经3号介质换热器的管程、氢气泵和三通阀连接到1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的换热介质入口，另一路经级间换热器、低压氢气循环泵和三通阀连接到1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的换热介质入口。二级升压床结构的1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的换热介质出口连接到四通阀分为三路，一路经氢气泵、1号介质换热器的管程和四通阀连接到1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的换热介质入口；一路经低压氢气循环泵和2号介质换热器的管程和四通阀连接到1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的换热介质入口；一路经氢气泵和级间换热器的管程和四通阀连接到1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的换热介质入口。

[0019] 一种氧气直喷纯氢燃烧内燃机动力系统，所述动力系统设有氢气气源、氧气气源、尾气余热利用单元，所述氢气气源为氢化镁储罐，氢化镁储罐由罐体、罐体外部的保温层组成，罐体的内部设有喷水管路；罐体的上部设有压力传感器、防爆阀、氢气出口、水气入口和温度传感器，罐体的下部设有添加抽出口，所述添加抽出口设有带密码锁的截止阀；罐体为金属材料、非金属材料或以上两者的组合材料；所述氢化镁储罐设有导热介质入口，水气入口管设有伴热管路，伴热管路入口设有水过滤膜，氢气出口设有氢气过滤膜。

[0020] 所述动力系统还包括加压泵、气液分离器、氢气提纯单元、冷却水箱、循环水箱、2号气液分离器 and 高压氧气缓冲罐；气液分离器的气体出口设有气体过滤膜，循环水箱设有润滑剂添加口和排水口，排水口设有润滑剂过滤膜，排水口经润滑剂过滤膜、回水泵连接到冷却水箱；氢气提纯单元的气体出口设有氢气分离膜；所述氢化镁储罐的氢气出口与低压氢气缓冲罐连接，所述低压氢气缓冲罐出口分为两路，一路连接到氢气口，一路连接到尾气余热利用单元，尾气余热利用单元通过换热氢气管路连接到氢化镁储罐；所述气缸的排气孔通过尾气膨胀机或涡轮增压单元连接到三元催化器，三元催化器出口通过尾气余热利用

单元或凝汽器连接到气液分离器；所述气液分离器的气体出口通过氢气提纯单元连接到氢化镁储罐的水气入口；所述冷却水箱出口分为四路，一路通过循环冷却水管线连接到气缸的夹套，气缸的夹套出口通过凝汽器或尾气余热利用单元连接到冷却水箱；一路连接到氢化镁储罐的水气入口；一路通过尾气冷凝水循环管连接到变压吸附制氧机的氧气出口，接口设有水过滤膜；一路连接到循环水箱，循环水箱的入水口设有水过滤膜；所述氢燃料发动机的水底壳下部出口通过三通阀连接到2号气液分离器，所述2号气液分离器的气体出口连接到氢气提纯单元，液体出口连接到循环水箱，所述循环水箱通过补水管和三通阀连接到水底壳；所述尾气余热利用单元为复合式柯来浦单元或柯来浦单元，所述氢化镁储罐通过氢气过滤膜与复合式柯来浦单元或柯来浦单元内的换热器循环连接，所述氢气过滤膜只允许氢气通过，所述氢燃料发动机的夹套与换热器循环连接。

[0021] 所述系统设有尾气膨胀机和凝汽器，所述气缸的尾气出口通过尾气膨胀机连接到三元催化器，所述三元催化器的尾气出口分为两路，一路连接到凝汽器的高温尾气入口，另一路经升压床连接到凝汽器的低温尾气入口；所述凝汽器连接到气液分离器，所述凝汽器与柯来浦单元或复合式柯来浦单元循环连接。

[0022] 所述氧气气源为变压吸附制氧机，涡轮增压单元包括涡轮机和压气机，涡轮机与压气机同轴连接；变压吸附制氧机的氧气出口通过涡轮增压单元的压气机连接到加压泵，气缸的排气孔通过涡轮增压单元的涡轮机连接到三元催化器。

[0023] 所述氧气气源为变压吸附制氧机，涡轮增压单元包括涡轮机、压气机和二级涡轮机，涡轮机、压气机和二级涡轮机同轴连接；氢化镁储罐的氢气出口与低压氢气缓冲罐连接，低压氢气缓冲罐出口通过升压床、高压氢气缓冲罐和涡轮增压单元的二级涡轮机连接到气缸的进气孔；变压吸附制氧机的氧气出口通过涡轮增压单元的压气机连接到高压氧气缓冲罐，气缸的排气孔通过涡轮增压单元的涡轮机连接到三元催化器。

[0024] 所述系统设置升压床，升压床是在低温下吸收低压氢气并在高温下放出高压氢气的氢气热压缩设备；升压床内装有稀土系金属储氢材料，升压床设置有多台氢反应床，根据氢反应床包括吸氢温度、吸氢压力、放氢温度、放氢压力的工作参数，升压床分为单级或多级升压床；多台氢反应床均在相同的工作参数下运行的为单级升压床，多台氢反应床分为多组在不同的工作参数下运行的为多级升压床；单级升压床包括换热器、换热中心、1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床；1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床均添加有金属氢化物，分别设有换热介质入口、换热介质出口、低压氢气入口和高压氢气出口，换热介质入口、换热介质出口和高压氢气出口设有阀门，高压氢气出口设有过滤膜，低压氢气入口设有三通阀；换热器的换热介质出口分别与1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的换热介质入口连接，1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的换热介质出口分别通过高压氢气循环泵与换热器的换热介质入口连接；所述换热介质包括氢气、惰性气体或性质稳定的液体和气体；1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的高压氢气出口与换热中心连接，换热中心出口通过低压氢气循环泵连接到低压氢气管线，低压氢气管线分别通过三通阀与1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的低压氢气入口连接；三通阀的另一接口通过高压氢气管线连接到高压氢气总出口，低压氢气总进口连接到低压氢气循环泵的入口；升压床是在低温下吸收低压氢气并在高温下放出高压氢气的氢气热压缩设备；升压床设置有多台氢反应床，根据氢反应床包括吸氢温度、吸氢压力、放氢温度、放氢压力的工作参数，

升压床分为单级或多级升压床；多台氢反应床均在相同的工作参数下运行的为单级升压床，多台氢反应床分为多组在不同的工作参数下运行的为多级升压床；多级升压床的氢气来源于氢化镁储罐内氢化镁与水反应产生的低压氢气，在氢反应床加压后，高压氢气用于进入气缸作为燃料使用。

[0025] 氢燃料发动机的各运转部件的润滑采用多种形式，或润滑油、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；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剂；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；在活塞环、活塞与气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；另一种形式是在气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；所述活塞环、活塞与气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，所述活塞环、活塞与气缸壁上的出气方向或为垂直喷出润滑介质；缸壁或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；或氢燃料发动机的各运转部件采用传统润滑形式，包括油底壳润滑和机油系统，活塞环、活塞与气缸壁之间采用传统润滑形式；所有升压床和柯来浦单元的氢反应床或采用外部换热、或抽出金属储氢材料换热模式；氢反应床金属氢化物吸氢放氢的供氢方式，与管道氢气、氢化镁储罐罐装氢气结合使用，对于压力不高的管道氢气通过升压床提高压力，对于罐装氢气随着使用压力逐渐降低，通过金属氢化物与水反应放出稳定压力的氢气弥补压力下降的不足。

[0026] 所述氢化镁储罐中的氢化镁的更换采用氢化镁更换装置的形式，氢化镁更换装置将使用过的氢化镁储罐中的以氢氧化镁为主的所有物质安全快捷的输送出来，并同样安全快捷地将颗粒状或粉状氢化镁注入氢化镁储罐中，同时准确快速的进行计量；氢化镁更换装置采用机械输送、气体输送或液体输送更换形式，能够实现计量准确、安全输送出氢氧化镁为主的使用过的物质或输送进氢化镁为主的物质进入氢化镁储罐目的，氢化镁更换装置包括分离罐、氢氧化镁罐、余氢吸收单元、真空罐、保护气压缩机、高压保护气罐、氢化镁罐、供料器、抽出计量仪、添加计量仪和加注枪；加注枪设有密封圈和锁紧法兰，氢化镁储罐的添加抽出口设有带密码锁的截止阀，加注枪通过锁紧法兰与氢化镁储罐的添加抽出口密封连接；加注枪设进料-出料口，进料-出料口通过添加-抽料共用管路和抽出管路连接到分离罐，分离罐的固体出口通过抽出计量仪连接到氢氧化镁罐，分离罐的气体出口通过余氢吸收单元连接到真空罐，真空罐通过单向阀和保护气压缩机连接到高压保护气罐；高压保护气罐出口分为两路，一路连接到供料器，一路通过保护气管路连接到加注枪的保护气入口；氢化镁罐通过供料器、添加计量仪、添加管路和添加-抽料共用管路连接到加注枪的进料-出料口；氢化镁储罐中的氢化镁更换或采用小容器输送的方式，将氢化镁装在各类形状相同或不同的小容器中，并把装载有氢化镁的小容器输送到氢化镁储罐内，水可以进入小容器中，水与小容器中的氢化镁反应放出氢气，氢气从小容器中进入氢化镁储罐供系统使用，当小容器中氢化镁与水反应放氢结束后，把装载有以氢氧化镁为主的剩余物的小容器输送

到氢氧化镁罐中；氢化镁储罐中的氢化镁更换或采用小容器输送的另一种方式，将氢化镁装在各类形状相同或不同的小容器中，并把装载有氢化镁的小容器输送到氢化镁储罐，将小容器中的氢化镁倒入氢化镁罐内，氢化镁储罐中的氢化镁反应放氢后，以氢氧化镁为主的剩余物的更换采用小容器输送的方式，将以氢氧化镁为主的剩余物装在小容器中，并把装载有以氢氧化镁为主的剩余物的小容器输送到氢氧化镁罐，将小容器中以氢氧化镁为主的剩余物倒入氢氧化镁罐内；或氢化镁储罐中的氢化镁的更换采用氢化镁储罐整体更换的方式。

[0027] 制氧设备除采用变压吸附制氧机外，氧气或采用包括空气深冷分离、电解水方法制取；动力系统内连接各个设备和单元的管道均设置内保温或外保温或内、外保温措施；各类膜或用相应的分离器代替；进入氢燃料发动机水底壳的包括氢气的气体介质通过三通阀、2号气液分离器到氢气提纯单元；发动机气缸停止工作时，水底壳的水保留在水底壳内，或通过三通阀、2号气液分离器进入循环水箱，由回水泵将水打回冷却水箱；发动机气缸启动时，通过泵与补水管将循环水箱内带有润滑剂的水通过三通阀再打入水底壳；所述水底壳的润滑介质包括水、含有润滑剂的水；所述小冲程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；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，燃料常压储存和常压使用，氢气燃料以固体氢化物形式装载，大部分时间以固体形式出现，安全便利；发动机冷机时用点火器点火，热机时自点火，采用复合式柯来浦单元吸收全部的冷凝热；氢反应床除采用氢气直接进入加热放氢外，或采用外部换热或抽出金属储氢材料换热模式。

[0028] 本发明氧气直喷纯氢燃烧内燃机动力系统通过纯氧燃烧的氢燃料发动机与柯来浦单元/复合式柯来浦单元和升压床结合，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。氢燃料发动机采用两冲程发动机、四冲程发动机和小冲程高频发动机，小冲程高频发动机包括四缸小冲程高频发动机和六缸小冲程高频发动机，提高了动力系统氢燃料发动机选择的多样性和灵活性，小冲程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、小冲程和高频的特点。动力系统内的尾气余热利用单元采用柯来浦单元和复合式柯来浦单元，增加了柯来浦单元选择的多样性和灵活性。

[0029] 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

[0030] 图1为本发明氧气直喷纯氢燃烧内燃机动力系统的流程示意图；

[0031] 图2为本发明另一种实施方案的流程示意图；

[0032] 图3为柯来浦单元的流程示意图；

- [0033] 图4为氢气喷嘴结构图；
- [0034] 图5为氢气喷嘴吸合状态图；
- [0035] 图6为氢气喷嘴的柱塞上气体轴承放大图；
- [0036] 图7为氢气喷嘴的柱塞下气体轴承放大图；
- [0037] 图8为本发明第三种实施方案的流程示意图；
- [0038] 图9为氢燃料发动机的二冲程结构示意图；
- [0039] 图10为氢燃料发动机的四冲程结构示意图；
- [0040] 图11为升压床的工作原理图；
- [0041] 图12为氢燃料发动机的另一个二冲程结构示意图；
- [0042] 图13为复合式柯来浦单元示意图；
- [0043] 图14为本发明第四种实施方案的流程示意图；
- [0044] 图15为四缸小冲程高频发动机示意图；
- [0045] 图16为柯来浦单元局部放大图；
- [0046] 图17为小冲程高频发动机单缸示意图；
- [0047] 图18为本发明第五种实施方案的流程示意图；
- [0048] 图19为氢化镁储罐的结构示意图；
- [0049] 图20为氢化镁储罐更换口示意图；
- [0050] 图21为氢化镁更换装置的流程示意图；
- [0051] 图22为六缸小冲程高频发动机示意图；
- [0052] 图23为I型改进式柯来浦单元的示意图；
- [0053] 图24为II型改进式柯来浦单元的示意图；
- [0054] 图25为本发明第一种实施方案的另一运行方式流程示意图；
- [0055] 图26为本发明第二种实施方案的另一运行方式流程示意图；
- [0056] 图27为本发明第三种实施方案的另一运行方式流程示意图；
- [0057] 图28为III型改进式柯来浦单元。
- [0058] 其中：1—氢化镁储罐、2—氢气过滤膜、3—升压床、4—变压吸附制氧机、5—气缸、6—水底壳、7—三元催化器、8—尾气余热利用单元、9—气液分离器、10—气体过滤膜、11—补水管、12—加压泵、13—氢气喷嘴、14—膨胀机、15—发电机、16—2号换热器、17—3号换热器、18—添加抽出口、19—尾气冷凝水循环管路、20—弹簧、21—柱塞下气体轴承、22—柱塞上气体轴承、23—空心柱塞、24—柱塞限位器、25—气体通道、26—喷嘴喷孔、27—柱塞喷孔、28—集气室、29—电磁线圈、30—冷却水箱、31—循环冷却水管线、32—防冻剂补加口、33—水过滤膜、34—氧气喷嘴、35—曲轴箱、36—火花塞、37—进气孔、38—进气口、39—单向阀、40—缸盖、41—排气孔、42—换热介质出口、43—活塞、44—连杆、45—曲轴、46—燃烧室、47—高温尾气进口、48—高压换热管线、49—换热器、50—低温尾气出口、51—高压氢气管线、52—低压氢气管线、53—高压氢气总出口、54—低压氢气总进口、55—换热中心、56—低压氢气缓冲罐、57—高压氢气缓冲罐、58—涡轮增压单元、59—高压氧气缓冲罐、60—回水泵、61—三通阀、62—回水管、63—压气机、64—涡轮机、65—高压氢气循环泵、66—低压氢气循环泵、67—阀门、A—1号氢反应床、B—2号氢反应床、C—3号氢反应床、68—高温气体进口、69—低温气体出口、70—温度传感器、71—压力传感器、72—防爆阀、73—氢气出口、

74—冷却器、76—2号换热中心、77—一级减速器、78—二级减速器、79—尾气膨胀机、80—充氮密封保护罩、81—膨胀机中间再热器、82—二级氢气换热器、83—缓冲罐、84—有机工质压缩机、85—有机工质膨胀机、86—氢气提纯单元、87—换热介质入口、88—冷却水套、89—排气通道、90—四通阀、91—一级换热器、92—二级换热器、93—三级换热器、94—一级氢气换热器、95—氢气泵、96—一级膨胀机、97—二级膨胀机、98—3号介质换热器、99—凝汽器、100—氢气分离膜、101—氢气检测器、102—循环水箱、103—润滑剂添加口、104—2号气液分离器、105—伴热管路、106—过滤膜、107—二级涡轮机、108—低压氢气入口、109—高压氢气出口、110—带密码锁的截止阀、111—加注枪、112—锁紧法兰、113—密封圈、114—分离罐、115—氢氧化镁罐、116—余氢吸收单元、117—真空罐、119—保护气压缩机、120—高压保护气罐、121—保护气管路、122—抽出管路、123—氢化镁罐、124—供料器、125—抽料-添加共用管路、126—抽出计量仪、127—添加计量仪、128—添加管路、129—排水口、130—尾气喷口、131—氧气和水喷口、132—稳压器、133—加水口、134—喷水管路、135—罐体、137—保温层、138—导热介质入口、139—蓄电池、140—一级间换热器、141—尾气压气机、142—1号介质换热器、143—2号介质换热器。

### 具体实施方式

[0059] 下面结合实施例和附图对本发明进行详细说明。本发明保护范围不限于实施例，本领域技术人员在权利要求限定的范围内做出任何改动也属于本发明保护的范畴。

#### [0060] 实施例1

[0061] 本发明氧气直喷纯氢燃烧内燃机动力系统如图1所示，包括ECU、氢燃料发动机、氢化镁储罐1、升压床3、变压吸附制氧机4、凝汽器99、尾气膨胀机79、三元催化器7、柯来浦单元、氢气提纯单元86、冷却水箱30、加压泵12、回水泵60、气液分离器9、低压氢气缓冲罐56、高压氢气缓冲罐57、循环水箱102、2号气液分离器104和高压氧气缓冲罐59。如图9所示，氢燃料发动机为两冲程发动机，包括气缸5、缸盖40、曲轴箱35和水底壳6。缸盖上设有火花塞36、氢气喷嘴13和氧气喷嘴34，气缸壁上设有排气孔41。曲轴箱内设有曲轴45，气缸内设有活塞43，活塞通过连杆44与曲轴连接。缸体下部的曲轴箱设有水底壳6。氢化镁储罐的氢气出口设有氢气过滤膜2，气液分离器的气体出口设有气体过滤膜10，氢气提纯单元出口设有氢气分离膜100，冷却水箱30和气液分离器9设有排水口129。循环水箱102设有润滑剂添加口103和排水口，排水口设有润滑剂过滤膜，排水口经润滑剂过滤膜、回水泵60连接到冷却水箱30。如图19所示，氢化镁储罐1由罐体135、罐体外部的保温层137组成，罐体的内部设有喷水管路134。罐体的下部设有压力传感器71、防爆阀72、氢气出口73、水气入口和温度传感器72。罐体的下部设有添加抽出口18，添加抽出口设有带密码锁的截止阀110，用于抽出使用过的氢化镁储罐中的以氢氧化镁为主的所有物质和添加新鲜的氢化镁。罐体135为金属材料、非金属材料或以上两者的组合材料。氢化镁储罐设有导热介质入口138，水气入口管设有伴热管路105，伴热管路入口设有水过滤膜33，氢气出口73设有氢气过滤膜2。

[0062] 氧气直喷纯氢燃烧内燃机动力系统氢化镁的更换采用氢化镁储罐整体更换的形式或设置氢化镁更换装置。氢化镁更换装置将使用过的氢化镁储罐中的以氢氧化镁为主的所有物质安全快捷的输送出来，并同样安全快捷地将氢化镁注入储罐中，同时准确快速的进行计量；氢化镁更换装置采用机械输送、气体输送、液体输送等任意更换形式。氢化镁更

换装置的一种形式如图21所示,包括分离罐114、氢氧化镁罐115、余氢吸收单元116、真空罐117、保护气压缩机119、高压保护气罐120、氢化镁罐123、供料器124、抽出计量仪126、添加计量仪127和加注枪111。如图20所示,加注枪设有密封圈113和锁紧法兰112,加注枪通过锁紧法兰与氢化镁罐1的添加抽出口18密封连接。加注枪设有进料-出料口,进料-出料口通过添加-抽料共用管路125和抽出管路122连接到分离罐,分离罐的固体出口通过抽出计量仪126连接到氢氧化镁罐,分离罐的气体出口通过余氢吸收单元116连接到真空罐117,真空罐通过单向阀39和保护气压缩机119连接到高压保护气罐120。高压保护气罐120出口分为两路,一路连接到供料器124,一路通过保护气管路121连接到加注枪的保护气入口。氢化镁罐123通过供料器124、添加计量仪127、添加管路128和添加-抽料共用管路125连接到加注枪111的进料-出料口。氢化镁更换装置采用重力输送、机械输送、气力输送、真空输送、液力输送或电磁输送,或它们的组合,从而达到更换氢化镁储罐内物料的目的,即通过密码锁打开罐体,使氢化镁储罐内的氢氧化镁移出,然后加入氢化镁,罐体关闭密封。

[0063] 氢化镁储罐的氢气出口与低压氢气缓冲罐连接,低压氢气缓冲罐出口分为两路,一路通过升压床连接到高压氢气缓冲罐,高压氢气缓冲罐的出口连接到氢燃料发动机的氢气喷嘴13;一路连接到柯来浦单元,柯来浦单元通过换热氢气管路连接到氢化镁储罐形成循环,将氢化镁储罐中的热量传递给柯来浦单元,为柯来浦单元提供热源。变压吸附制氧机的氧气出口通过加压泵12和高压氧气缓冲罐59连接到氢燃料发动机的氧气喷嘴34,变压吸附制氧机的氮气口连接至放空管路,氮气和部分氧气放空。气缸的排气孔41通过尾气膨胀机79连接到三元催化器7,三元催化器的尾气出口分为两路,一路直接连接到凝汽器99壳程的高温尾气入口,另一路经升压床3换热后连接到凝汽器的壳程的低温尾气入口,凝汽器的壳程出口连接到气液分离器9。柯来浦单元通过换热管路与凝汽器的管程循环连通,柯来浦单元的发电机与外部电力系统电路连接。气液分离器的气体出口通过氢气提纯单元86连接到氢化镁储罐的水气入口,氢气提纯单元的杂质气出口连接到外排管路。气液分离器的水出口通过单向阀39连接到冷却水箱30,冷却水箱出口分为四路,一路通过循环冷却水管线31连接到气缸的夹套,气缸的夹套出口通过凝汽器99连接到冷却水箱30;一路通过水过滤膜33、伴热管线105连接到氢化镁储罐的水气入口;一路通过尾气冷凝水循环管19连接到加压泵12入口,接口设有水过滤膜33;一路连接到循环水箱102,循环水箱的入水口设有水过滤膜33,循环水箱再通过补水管11、补水泵和三通阀连接到水底壳6。氢燃料发动机的水底壳6下部出口通过三通阀61连接到2号气液分离器104,2号气液分离器的气体出口连接到氢气提纯单元86,液体出口连接到循环水箱102。

[0064] 如图3所示,柯来浦单元包括2号换热中心76、升压床结构、膨胀机组和发电机15。升压床结构为单级或多级,每增设一级升压床,2号换热中心相应增设一级换热器和一级氢气换热器。以三级升压床结构为例,2号换热中心76设有高温气体进口68、低温气体出口69、一级换热器91、二级换热器92、三级换热器93、一级氢气换热器94、二级氢气换热器82、膨胀机中间再热器81和冷却器74。柯来浦单元设有氢气检测器101,柯来浦单元的外部包有充氮密封保护罩80。高温气体进口68依次通过一级换热器91、二级换热器92、三级换热器93和膨胀机中间再热器81连接到低温气体出口69。膨胀机组设有3台膨胀机14,3台膨胀机与发电机15同轴连接,3台膨胀机的中间段分别与膨胀机中间再热器81循环连接。每组升压床结构分别设有1号氢反应床A、2号氢反应床B、3号氢反应床C、缓冲罐83和氢气泵95,不同组升压



床结构的吸热不一样,其中各组升压床结构的型式、结构以及金属储氢材料的种类和载量相同或不同,每组升压床结构内的各个氢反应床的型式、结构以及金属储氢材料的种类和载量相同或不同,三组升压床结构中1号氢反应床A、2号氢反应床B、3号氢反应床C的重量和体积可以相同,也可以不同;所对应的三台膨胀机的功率可以相同,也可以不同。1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床分别设有换热介质入口87、换热介质出口42、低压氢气入口108和高压氢气出口109。如图16所示,高压氢气出口设有过滤膜106和阀门67,低压氢气入口设有阀门。高压氢气出口109连接到膨胀机的入口,膨胀机的出口通过缓冲罐83连接低压氢气入口108。第一组升压床结构的1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的换热介质出口42分别连接到三通阀61,三通阀一路出口经氢气泵95、一级换热器91和三通阀连接到换热介质入口87,另一路经氢气泵95、一级氢气换热器94和三通阀连接到换热介质入口87。第二组升压床结构的1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的换热介质出口42分别连接到四通阀90,四通阀一路出口经氢气泵95、二级换热器92和四通阀连接到换热介质入口87,一路经氢气泵95、一级氢气换热器94和四通阀连接到换热介质入口,第三路经氢气泵95、二级氢气换热器82和四通阀连接到换热介质入口。第三组升压床结构的1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的换热介质出口42分别连接到四通阀90,四通阀一路出口经氢气泵95、三级换热器93和四通阀连接到换热介质入口87,一路经氢气泵95、二级氢气换热器82和四通阀连接到换热介质入口,第三路经氢气泵95、冷却器74和四通阀连接到换热介质入口。氢化镁储罐1与换热器74循环连接,氢燃料发动机的夹套与换热器74循环连接。换热介质包括氢气、惰性气体或性质稳定的液体和气体,采用非氢气换热介质时,过滤膜106能分离氢气与非氢气换热介质。柯来浦单元以及升压床的反应床的罐体由金属或非金属材料制成,设置有内保温或外保温或内、外保温措施,连接各个设备、单元的管道均可设置有内保温或外保温或内、外保温措施。

[0065] 柯来浦单元的操作为:由凝汽器99过来的高温换热介质经高温气体进口68进入2号换热中心76,依次经一级换热器91、二级换热器92、三级换热器93和膨胀机中间再热器81到低温气体出口69,返回凝汽器99形成换热循环。柯来浦单元的上、中、下三组升压床结构分别为第一级升压床结构、第二级升压床结构、第三级升压床结构,每级升压床结构设有3个氢反应床:1号氢反应床A、2号氢反应床B、3号氢反应床C。从柯来浦单元能实现稳定放氢的方面考虑,整个工作过程设置分为三个阶段,放氢阶段,冷却及吸氢阶段,升温放氢准备阶段。假设每个阶段时长为2分钟,则工作时序安排每6分钟为一个循环。

[0066] 放氢阶段:

[0067] 第一级升压床结构的氢气换热管路通过阀门切换使第一级氢反应床与一级换热器91管程连通,由从一级换热器91壳程通过的高温气体(600℃)供给热量,使第一级氢反应床在500℃下吸收热量并持续放出35MPa的高压氢气,出一级换热器91的高温气体温度降至510℃;同时第一级氢反应床的高压氢气出口109处的阀门打开,放出的高压氢气从高压氢气出口109进入膨胀机14。

[0068] 第二级升压床结构的氢气换热管路通过阀门切换使第二级氢反应床分别与二级换热器92的管程和一级氢气换热器94的管程连通,由从二级换热器92壳程通过的高温气体(510℃)和一级氢气换热器94的壳程通过的高温氢气(350℃<t<500℃)供给热量,使第二级氢反应床在350℃下吸收热量并持续放出35MPa的高压氢气,出二级换热器82的高温气体温

度降至350℃,出一级氢气换热器94壳程的高温氢气温度降至350℃;同时第二级氢反应床高压氢气出口109处的阀门打开,放出的高压氢气从高压氢气出口109进入膨胀机14。

[0069] 第三级升压床结构的氢气换热管路通过阀门切换使第三级氢反应床分别与三级换热器93的管程和二级氢气换热器82的管程连通,由从三级换热器93壳程通过的高温气体(350℃)和二级氢气换热器82的壳程通过的高温氢气( $200 < t < 350$ ℃)供给热量,使得第三级氢反应床在200℃下吸收热量并持续放出35MPa的高压氢气,出三级换热器93的高温气体温度降至210℃,出二级氢气换热器82壳程的高温氢气温度降至200℃。同时第三级氢反应床高压氢气出口109处的阀门打开,放出的高压氢气从高压氢气出口109进入膨胀机14。

[0070] 冷却及吸氢阶段:

[0071] 放氢阶段后进入冷却及吸氢阶段,先关闭高压氢气出口109处的阀门;

[0072] 第一级升压床结构的氢气换热管路通过阀门切换使第一级氢反应床与一级氢气换热器94的壳程连通,与从一级氢气换热器94的管程通过的低温氢气(来自处于放氢阶段的第二级氢反应床)换热,先将放氢阶段结束时的显热传递给第二级氢反应床,第一级氢反应床温度降至350℃后,开始吸氢,这时打开低压氢气入口108处的阀门,同样通过换热管路将吸氢时放出的热量传递给第二级氢反应床放氢时使用。

[0073] 第二级升压床结构的氢气换热管路通过阀门切换使第二级氢反应床与二级氢气换热器82的壳程连通,与从二级氢气换热器82的管程通过的低温氢气(来自处于放氢阶段的第三级氢反应床)换热,先将放氢阶段结束时的显热传递给第三级氢反应床,第二级氢反应床温度降至200℃后,开始吸氢,这时打开低压氢气入口108处的阀门,同样通过换热管路将吸氢时放出的热量传递给第三级氢反应床放氢时使用。

[0074] 第三级升压床结构的氢气换热管路通过阀门切换使第三级氢反应床与冷却器74的壳程连通,与从冷却器74的管程通过的冷水换热,第三级氢反应床温度降至40℃后,开始吸氢,这时打开低压氢气入口108处的阀门,同样通过换热管路将吸氢时放出的热量供给输出热水。

[0075] 升温放氢准备阶段:

[0076] 冷却及吸氢阶段结束后进入升温放氢准备阶段,首先关闭低压氢气进口阀门。

[0077] 然后,换热管路出口阀门全闭,换热介质入口87处的阀门微启,切换连通到:第一级氢反应床与一级换热器91管程连通;第二级氢反应床与二级换热器92的管程和一级氢气换热器94的管程连通;第三级氢反应床与三级换热器93的管程和二级氢气换热器92的管程连通;将反应床内压力升至与换热管路压力相同(35MPa);此为升压过程。

[0078] 然后,换热介质出口42阀门微启,切换连通到:第一级升压床结构与一级换热器91管程连通;第二级升压床结构与二级换热器92的管程和一级氢气换热器94的管程连通;第三级升压床结构与三级换热器93的管程和二级氢气换热器82的管程连通;形成换热循环回路,将反应床内温度升高到第一级(500℃),第二级(350℃),第三级(200℃);此为升温过程。

[0079] 最后,氢反应床内开始预放氢过程,微启高压氢气出口109阀门,输出高压氢气;随着放氢增加,处于升温放氢准备阶段氢反应床的高压氢气出口109阀门、换热介质出口42阀门、换热介质入口87阀门开度不断增加;于此相应地同一级中另一处于放氢阶段氢反应床的高压氢气出口109阀门、换热介质出口42阀门、换热介质入口87阀门开度不断减少;最终,

升温放氢准备阶段的氢反应床进入到放氢阶段,原放氢阶段的氢反应床进入到冷却及吸氢阶段。

[0080] 如图4~图7所示,氢气喷嘴13由外壳、集气室28、喷嘴喷孔26和气体通道25构成,气体通道穿过集气室连通到喷嘴喷孔。气体通道的上部装有弹簧20,下部装有空心柱塞23,气体通道的集气室段中空柱塞管壁设有柱塞喷孔27。集气室上部设有柱塞上气体轴承22,下部设有柱塞下气体轴承21,空心柱塞设有柱塞限位器24,外壳的壳体上设有电磁线圈29,柱塞限位器与电磁线圈配合安装。通过电磁线圈对柱塞限位器的吸合和放开,使空心柱塞上下移动,实现对喷嘴喷孔26的开闭控制。氢气喷嘴13和氧气喷嘴34结构相同,不再赘述。

[0081] 图4为空心柱塞23关闭状态,图5为空心柱塞23开启状态。当空心柱塞23处于关闭状态时,高压4MPa的氢气和2MPa的氧气通过气体通道25进入空心柱塞23内部,在柱塞下气体轴承21和柱塞上气体轴承22的位置,从柱塞喷孔27向外喷射,并沿柱塞下气体轴承21和柱塞上气体轴承22与空心柱塞23的间隙向下流动进入集气室28。从柱塞喷孔27向外喷射的氢气或氧气,一方面起到润滑轴承的作用,另一方面可以冷却空心柱塞防止其超温,同时达到了气体的输送功能使集气室28保持足够的喷射压力。当空心柱塞23处于开启状态时,集气室28内的高压氢气或氧气直接喷射进入氢燃料发动机气缸5燃烧做功。当电磁线圈29通电时限位器受磁力吸引上升、空心柱塞23开启,当电磁线圈29断电时空心柱塞23由弹簧20向下压紧关闭。空心柱塞23的开启和关闭状态、开启和关闭的脉宽由氢燃料发动机自控系统通过电磁线圈29控制,氢气喷嘴13和氧气喷嘴34工作原理相同。氢气喷嘴可以用于氧气、氢气、天然气、氩气等气体的直喷,能够耐高温、耐高压、不易回火,能够利用所喷射的气体进行自冷却,提高了氢气喷嘴的寿命。

[0082] 升压床是在低温下吸收低压氢气并在高温下放出高压氢气的氢气热压缩设备。升压床设置有多台氢反应床,根据氢反应床的工作参数如吸氢温度、吸氢压力、放氢温度、放氢压力,升压床分为单级或多级升压床。多台氢反应床均在相同的工作参数下运行的为单级升压床,多台氢反应床分为多组在不同的工作参数下运行的为多级升压床。单级升压床的基本结构如图11所示,升压床3包括换热器49、换热中心55、1号氢反应床A、2号氢反应床B和3号氢反应床C。1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床均添加有金属氢化物,1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床分别设有换热介质入口87、换热介质出口42、低压氢气入口108和高压氢气出口109,换热介质入口、换热介质出口和高压氢气出口设有阀门67,高压氢气出口设有过滤膜106,低压氢气入口设有三通阀61。换热器的换热介质出口分别与1号氢反应床A、2号氢反应床B和3号氢反应床C的换热介质入口87连接,1号氢反应床A、2号氢反应床B和3号氢反应床C的换热介质出口42分别通过高压氢气循环泵65与换热器的换热介质入口连接。1号氢反应床A、2号氢反应床B和3号氢反应床C的高压氢气出口109与换热中心55连接,换热中心出口通过低压氢气循环泵66连接到低压氢气管线52,低压氢气管线52分别通过三通阀61与1号氢反应床A、2号氢反应床B和3号氢反应床C的低压氢气入口108连接。三通阀的另一接口通过高压氢气管线51连接到高压氢气总出口53,低压氢气总进口54连接到低压氢气循环泵66的入口。换热中心可采用高导热合金材料3D打印制成以降低设备体积及重量。

[0083] 来自于氢化镁储罐0.12MPa—0.5MPa的氢气,由低压氢气总进口54进入升压床系统,首先进入氢反应床C低温低压吸氢,低压氢气循环将吸氢放出的热量带给换热中心55。

此时1号氢反应床A处于放氢状态,来自于氢燃料发动机气缸5的尾气出口的高温尾气,从高温尾气进口47进入到换热器49放出热量后,从低温尾气出口50出去离开升压床系统。高压换热管线48将换热器的热量带给1号氢反应床A,1号氢反应床A中的金属氢化物受热后放出高温高压的氢气,从高压氢气总出口53出去进入氢燃料发动机的氢气喷嘴,作为发动机的燃料使用。为保证高压放氢的连续性,2号氢反应床B处于吸氢饱和后的加热状态,随时准备放氢与1号氢反应床A的放氢连续衔接。当1号氢反应床A放氢结束后进入吸氢状态,氢反应床A、B、C循环吸氢放氢连续工作,提供给发动机连续的高压氢气。氢反应床的罐体为有内保温的金属或非金属的储罐,高压换热管线48为高压介质换热管线压力4.2MPa,高压换热介质为氢气,低压氢气管线52压力为0.5MPa,高压氢气总出口53氢气压力为4MPa,低压氢气总进口54的进口氢气压力为0.12MPa。氢反应床内装有稀土金属氢化物。

[0084] 本发明氧气直喷纯氢燃烧内燃机动力系统的运行方式为:氢燃料发动机燃料氢气来源氢化镁储罐,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中,从低压氢气缓冲罐出来0.12MPa—0.5MPa的氢气经升压床升压到4MPa后,进入高压氢气缓冲罐,从高压氢气缓冲罐出来4MPa的氢气,通过氢气喷嘴直喷进入氢燃料发动机气缸内。在氢化镁储罐内有氢气、氩气、少量水蒸汽、金属氢化镁及氢氧化镁粉末,在氢气出口设置氢气过滤膜,氢气过滤膜只容许氢气通过,不容许其它气体和物质通过。氧气来源于变压吸附制氧机,空气经过除尘净化后进入变压吸附制氧机,所有的氮气和部分氧气排放掉,制得的氧气O<sub>2</sub> 94.5%、氩气Ar 4%、氮气N<sub>2</sub>1.5%、压力0.12MPa,压力0.12MPa的氧气经过加压泵加压到2MPa后,储存在高压氧气缓冲罐59中,从高压氧气缓冲罐出来的2MPa高压氧气,通过氧气喷嘴喷入氢燃料发动机气缸内。在氢燃料发动机气缸内氢气与纯氧浓燃产生1800℃高温(氢气过量25%)推动活塞做功,还原气氛下氧气与氮气反应生成氮氧化物的转化率很低,尾气中氮氧化物含量20PPm以下。

[0085] 氧气和氢气都采用缸内直喷,为防止燃烧超温影响气缸及活塞寿命,采用喷入过量氢气浓燃的方式控制反应温度,氧气和氢气的摩尔混合比例1:2.4。控制氮氧化物的生成和排放的主要方法是:①采用纯氧燃烧,微量氮气参与燃烧只有微量的氮氧化物产生;②采用氢气浓燃,使燃烧在还原性气氛下进行,只有微量的氮氧化物生成,尾气主要成分是水蒸汽、少量的Ar氩气和未燃烧的过量氢气。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、氧氢比例进行控制。发动机轴、发动机尾气膨胀机轴、柯来浦单元的膨胀机轴共轴连接或不共轴连接分别输出轴功。循环水箱内添加的润滑剂对氢燃料发动机整个系统运行无影响。在活塞做功时,活塞在上止点和下止点的中间任意位置都可以选择排气,如果在上止点和下止点的1/2处排气,为减除提前排气对缸内推力和活塞运行速度的影响,可采用增加气缸的燃料加入量、降低氢气过量系数、减少通过尾气冷凝水循环管路向氧气中添加的水量等多种措施,如氢燃料可以比标准加入量多30%,氧氢比例增加为1:2.3,这样可以增加推力,提高活塞运行速度。在发动机系统机械寿命允许的前提下,减少通过尾气冷凝水循环管路向氧气中添加的水量或不添加水,降低氢气过量系数或氢气不过量。

[0086] 氢燃料发动机气缸采用二冲程运行模式。气缸排出的带有一定压力的高温尾气通过尾气膨胀机79继续做功降压降温后,再进入三元催化器。在三元催化器内,尾气中未反应的少量氧气与未燃烧的过量氢气发生氧化化学反应(氧气浓度未达到爆炸极限),一定程度

提高了尾气温度；同时尾气中的微量NO<sub>x</sub>在三元催化器内发生还原反应，NO<sub>x</sub>被还原成N<sub>2</sub>。经三元催化器净化后的尾气，一部分先送到升压床换热，然后再与其他尾气一起送到凝汽器，在凝汽器中再次进行换热将尾气中的水蒸汽全部冷凝下来；同时将尾气大部分显热和大多数冷凝热供给柯来浦单元使用，由柯来浦单元利用余热和冷凝热发电满足变压吸附制氧机的电力需求或给蓄电池充电。经过凝汽器99的尾气和冷凝水送到气液分离器9进行分离，分离后的冷凝水通过单向阀(防止倒流)进入冷却水箱30；分离后的气体经过氢气提纯单元86提纯氢气，氢气经氢气出口到氢化镁储罐1的水汽入口，杂质气经外排管路外排。气液分离器和冷却水箱通过防冻剂补加口加入氯化钙，形成5%的氯化钙水溶液，在冬季可以耐受零下40℃的低温不结冰。冷却水箱出口分为四路，一路用于发动机和气缸的冷却；一路经过水过滤膜过滤掉氯化钙，进入氢化镁储罐作为金属氢化镁的水化反应原料使用；一路到氧气管路，必要时可以添加冷凝水稀释氧气的浓度，防止发动机气缸纯氧、纯氢燃烧超温；一路作循环水箱102的补水，发动机气缸启动时，通过补水管给水底壳加水，冷却并润滑连杆、曲轴和活塞，发动机工作时，气缸内渗出的微量气体可经2号气液分离器104将水蒸汽冷凝下来，不凝气送往氢气提纯单元，冷凝水送到循环水箱，发动机气缸停止工作时，水底壳的水通过三通阀、2号气液分离器104进入循环水箱102，由回水泵60将水打回冷却水箱，防止冬季冻冰堵管。

[0087] 整套氢内燃机动力系统吸入常温常压空气、排出常温常压氮气、杂质气，杂质气中有氮气、氩气、少量氧气、氮氧化物和少量润滑物气体(如果加入其它润滑剂)。氧气与氢气燃烧做功，高温尾气经尾气膨胀机79利用余压，经凝汽器99利用余热冷凝后，作为氢化镁水化反应原料循环使用。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。

[0088] 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。在活塞环、活塞与气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；另一种形式是在气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；所述活塞环、活塞与气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，所述活塞环、活塞与气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、活塞与气缸壁之间也采用传统润滑形式，但是环保指数低，排出污染物多。

[0089] 本实施例除采用变压吸附制氧外,氧气也可采用空气深冷分离、电解水等其他方法制取。整套氢内燃机动力系统内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。整套氢内燃机动力系统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。

[0090] 本实施例的另一种运行方式如图25所示,一种氧气直喷纯氢燃烧内燃机动力系统包括ECU、氢燃料发动机、氢化镁储罐1、凝汽器99、尾气膨胀机79、三元催化器7、柯来浦单元8、氢气提纯单元86、冷却水箱30、空气管路、气液分离器9和低压氢气缓冲罐56。氢燃料发动机为两冲程发动机,包括气缸5、缸盖和曲轴箱。缸盖上设有火花塞36和进气口38,气缸壁上设有排气孔。曲轴箱内设有曲轴,气缸内设有活塞,活塞通过连杆与曲轴连接。氢化镁储罐的氢气出口设有氢气过滤膜2,气液分离器的气体出口设有气体过滤膜10,氢气提纯单元出口设有氢气分离膜100,冷却水箱30和气液分离器9设有排水口129。气液分离器的水出口设有单向阀39,气液分离器9和冷却水箱30设有防冻剂补加口32。

[0091] 氢化镁储罐1的氢气出口与低压氢气缓冲罐56连接,低压氢气缓冲罐出口分为两路,一路连接到氢燃料发动机的进气口38;一路连接到柯来浦单元,柯来浦单元通过换热氢气管路连接到氢化镁储罐形成循环,将氢化镁储罐中的热量传递给柯来浦单元,为柯来浦单元提供热源。空气管路连接到氢燃料发动机的进气口38。气缸的排气孔通过尾气膨胀机79、三元催化器7和凝汽器99的壳程连接到气液分离器9。柯来浦单元通过换热管路与凝汽器的管程循环连通,柯来浦单元的发电机与外部电力系统电路连接。气液分离器的气体出口通过氢气提纯单元86连接到氢化镁储罐的水气入口,氢气提纯单元的杂质气出口连接到外排管路。气液分离器的水出口通过单向阀39连接到冷却水箱30,冷却水箱出口分为三路,一路通过循环冷却水管线31连接到气缸的夹套,气缸的夹套出口通过凝汽器99连接到冷却水箱30;一路通过水过滤膜33、伴热管线105连接到氢化镁储罐的水气入口;一路通过尾气冷凝水循环管19连接到空气管路,连接处设有水过滤膜33。

[0092] 该另一运行方式的工作过程为:氢燃料发动机燃料氢气来源氢化镁储罐,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75℃常压下进行,产生的氢气储存在低压氢气缓冲罐中,从低压氢气缓冲罐出来0.15MPa—0.3MPa的氢气,通过进气口38进入氢燃料发动机气缸内。在氢化镁储罐内有氢气、少量水蒸汽、金属氢化镁及氢氧化镁粉末,在氢气出口设置氢气过滤膜,氢气过滤膜只容许氢气通过,不容许其它气体和物质通过。空气经过除尘净化后通过进气口38进入氢燃料发动机气缸内,在氢燃料发动机气缸内氢气与空气浓燃产生1450℃高温(氢气过量10%)推动活塞做功,还原气氛下氧气与氮气反应生成氮氧化物的转化率很低,尾气中氮氧化物含量25PPm以下。

[0093] 控制氮氧化物的生成和排放的主要方法是采用氢气浓燃,使燃烧在还原性气氛下进行,只有微量的氮氧化物生成,尾气主要成分是水蒸汽、氮气和未燃烧的过量氢气。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、空氢比例进行控制。

[0094] 氢燃料发动机气缸采用二冲程运行模式。气缸排出的带有一定压力的高温尾气通过尾气膨胀机79继续做功降压降温后,再进入三元催化器。在三元催化器内,尾气中未反应的少量氧气与未燃烧的过量氢气发生氧化化学反应,一定程度提高了尾气温度;同时尾气中的微量 $\text{NO}_x$ 在三元催化器内发生还原反应, $\text{NO}_x$ 被还原成 $\text{N}_2$ 。经三元催化器净化后的尾气送到凝汽器,在凝汽器中进行换热将尾气中的水蒸汽全部冷凝下来,同时将尾气大部分显

热和大多数冷凝热供给柯来浦单元使用,由柯来浦单元利用余热和冷凝热发电。经过凝汽器99的尾气和冷凝水送到气液分离器9进行分离,分离后的冷凝水通过单向阀(防止倒流)进入冷却水箱30;分离后的气体经过氢气提纯单元86提纯氢气,氢气经氢气出口到氢化镁储罐1的水气入口,杂质气经外排管路外排。气液分离器和冷却水箱通过防冻剂补加口加入氯化钙,形成4%的氯化钙水溶液,在冬季可以耐受零下40℃的低温不结冰。冷却水箱出口分为三路,一路用于发动机和气缸的冷却;一路经过水过滤膜过滤掉氯化钙,进入氢化镁储罐作为金属氢化镁的水化反应原料使用;一路到空气管路,必要时可以添加冷凝水,防止发动机气缸纯氢燃烧超温;所述氢燃料发动机设置油底壳;柯来浦单元的膨胀机与发动机同轴或不同轴连接,利用尾气余热利用单元弥补发动机的动力不足问题。

#### [0095] 实施例2

[0096] 本发明又一实施方式如图2所示,包括ECU、氢燃料发动机、氢化镁储罐1、升压床3、变压吸附制氧机4、三元催化剂7、复合式柯来浦单元、低压氢气缓冲罐56、高压氢气缓冲罐57、高压氧气缓冲罐59、氢气提纯单元86、气液分离器9、循环水箱102、2号气液分离器104、冷却水箱30和涡轮增压单元58。氢化镁储罐的氢气出口设有氢气过滤膜2,气液分离器的气体出口设有气体过滤膜10,冷却水箱30和气液分离器9设有排水口129。循环水箱102设有润滑剂添加口103和排水口,排水口设有润滑剂过滤膜,排水口经润滑剂过滤膜、回水泵60连接到冷却水箱30。氢化镁储罐的水气入口设有伴热管路105、伴热管路入口设有水过滤膜33。涡轮增压单元58包括涡轮机64、压气机63和二级涡轮机107,涡轮机64、压气机63和二级涡轮机107同轴连接。如图12所示,氢燃料发动机为二冲发动机,包括气缸5、缸盖40、曲轴箱35和水底壳6,缸盖设有氧气喷嘴34和火花塞36,气缸壁设有进气孔37和排气孔41。曲轴箱内设有曲轴45,气缸内设有活塞43,活塞通过连杆44与曲轴连接。

[0097] 氢化镁储罐的氢气出口与低压氢气缓冲罐连接,低压氢气缓冲罐出口分为两路,一路通过升压床3、高压氢气缓冲罐57和涡轮增压单元58的二级涡轮机107连接到气缸的进气孔37,低压氢气经二级涡轮机换压、气缸进气孔涡轮增压后进入气缸内;一路连接到复合式柯来浦单元,复合式柯来浦单元通过换热氢气管路连接到氢化镁储罐形成循环,将氢化镁储罐中的热量传递给复合式柯来浦单元,为复合式柯来浦单元提供热源。变压吸附制氧机的氧气出口通过涡轮增压单元的压气机63连接到高压氧气缓冲罐59,高压氧气缓冲罐的出口连接到气缸的氧气喷嘴34,变压吸附制氧机的氮气口连接至放空管路,氮气和部分氧气放空。气缸的排气孔41通过涡轮增压单元的涡轮机64连接到三元催化剂7,三元催化剂的尾气出口分为两路,一路通过升压床3连接到复合式柯来浦单元,一路直接连接到复合式柯来浦单元,复合式柯来浦单元连接到气液分离器,复合式柯来浦单元的发电机与外部电力系统电路连接。气液分离器水出口设有单向阀39,气液分离器9和冷却水箱30设有防冻剂补加口32。气液分离器的气体出口通过氢气提纯单元86连接到氢化镁储罐的水气入口,氢气提纯单元的杂质气出口连接到排放管路。气液分离器水出口通过单向阀39连接到冷却水箱30,冷却水箱出口分为四路,一路通过循环冷却水管线31连接到气缸的夹套,气缸的夹套出口通过复合式柯来浦单元连接到冷却水箱30;一路通过水过滤膜33、伴热管线105连接到氢化镁储罐的水气入口;一路通过尾气冷凝水循环管19连接到涡轮增压单元58入口,接口设有水过滤膜33;一路连接到循环水箱102,入水口设有水过滤膜33。氢燃料发动机的水底壳6下部出口通过三通阀61连接到2号气液分离器104,2号气液分离的气体出口连接

到氢气提纯单元86,液体出口连接到循环水箱102,循环水箱通过补水管11和三通阀连接到水底壳6。

[0098] 如图13所示的复合式柯来浦单元,以三级升压床结构为例,复合式柯来浦单元包括2号换热中心76、三组升压床结构、膨胀机组、有机工质压缩机84、有机工质膨胀机85和发电机15。2号换热中心76设有高温气体进口68、低温气体出口69、一级换热器91、二级换热器92、三级换热器93、一级氢气换热器94、二级氢气换热器82、膨胀机中间再热器81、2号换热器16、3号换热器17和冷却器74。高温气体进口68通过3号换热器17、一级换热器91、二级换热器92连接到三级换热器93,三级换热器93出口分为两路,一路连接到冷却器74,另一路通过膨胀机中间再热器81连接到冷却器,低温气体出口69位于冷却器74的出口。膨胀机组设有3台膨胀机14或一台组合式膨胀机,膨胀机组的3台膨胀机、有机工质压缩机84、有机工质膨胀机85与发电机15同轴连接,3台膨胀机的中间段分别与膨胀机中间再热器循环连接。每组升压床结构分别设有1号氢反应床A、2号氢反应床B、3号氢反应床C、缓冲罐83和氢气泵95,不同组升压床结构的吸热不一样,其中各组升压床结构的型式、结构以及金属储氢材料的种类和载量相同或不同,每组升压床结构内的各个氢反应床的型式、结构以及金属储氢材料的种类和载量相同或不同,1号氢反应床A、2号氢反应床B、3号氢反应床C的重量和体积可以相同,也可以不同。所对应的三台膨胀机的功率可以相同,也可以不同。1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床分别设有换热介质入口87、换热介质出口42、低压氢气入口108和高压氢气出口109,如图16所示,高压氢气出口设有106和阀门67,过滤膜只允许氢气通过,低压氢气入口设有阀门。高压氢气出口109连接到膨胀机的入口,膨胀机的出口通过缓冲罐83连接低压氢气入口108。第一组升压床结构的1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的换热介质出口42分别连接到三通阀61,三通阀一路出口经氢气泵95、一级换热器91和三通阀连接到换热介质入口87,另一路经氢气泵95、一级氢气换热器94和三通阀连接到换热介质入口。第二组升压床结构的1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的换热介质出口分别连接到四通阀90,四通阀一路出口经氢气泵95、二级换热器92和四通阀连接到换热介质入口,一路经氢气泵95、一级氢气换热器94和四通阀连接到换热介质入口,第三路经氢气泵95、二级氢气换热器82和四通阀连接到换热介质入口。第三组升压床结构的1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的换热介质出口分别连接到四通阀90,四通阀一路出口经氢气泵95、三级换热器93和四通阀连接到换热介质入口,一路经氢气泵95、二级氢气换热器82和四通阀连接到换热介质入口,第三路经氢气泵95、冷却器74和四通阀连接到换热介质入口。有机工质膨胀机85的出口通过冷却器74与有机工质压缩机84连接,有机工质膨胀机85与有机工质压缩机84之间的循环换热介质为氢气。有机工质膨胀机85通过循环泵、2号换热器16的管程连接到有机工质压缩机84,循环换热介质为氢气。2号换热器16的壳程通过循环泵连接到3号换热器17的壳程,3号换热器17的壳程连接到2号换热器16的壳程形成循环,循环换热介质为氢气。3号换热器17位于高温气体进口68与一级换热器91之间、或一级换热器91与二级换热器92之间、或二级换热器92与三级换热器93之间,或者上述三个部位均设置一台换热器,各台换热器取的热量不同。氢化镁储罐1与换热器74循环连接,氢燃料发动机的夹套与换热器74循环连接。换热介质包括氢气、惰性气体或性质稳定的液体和气体。复合式柯来浦单元以及升压床的反应床的罐体由金属或非金属材料制成,设置有内保温或外保温或内、外保温措施,连接各个设备、单元的管道均可设置有内保温或外保温或



内、外保温措施。

[0099] 复合式柯来浦单元的工作原理与柯来浦单元的工作原理类似。复合式柯来浦单元的上、中、下三组升压床结构分别为第一级升压床结构、第二级升压床结构、第三级升压床结构,每级反应床结构设有3个氢反应床:1号氢反应床A、2号氢反应床B、3号氢反应床C。从复合式柯来浦单元能实现稳定放氢的方面考虑,整个工作过程设置分为三个阶段,放氢阶段,冷却及吸氢阶段,升温放氢准备阶段。假设每个阶段时长为2分钟,则工作时序安排每6分钟为一个循环。

[0100] 放氢阶段:

[0101] 第一级升压床结构的氢气换热管路通过阀门切换使第一级氢反应床与一级换热器91管程连通,由从一级换热器91壳程通过的高温气体(600℃)供给热量,使第一级氢反应床在500℃下吸收热量并持续放出35MPa的高压氢气,出一级换热器91的高温气体温度降至510℃;同时第一级氢反应床的高压氢气出口109处的阀门打开,放出的高压氢气从高压氢气出口109进入膨胀机14。

[0102] 第二级升压床结构的氢气换热管路通过阀门切换使第二级氢反应床分别与二级换热器92的管程和一级氢气换热器94的管程连通,由从二级换热器92壳程通过的高温气体(510℃)和一级氢气换热器94的壳程通过的高温氢气(350℃<t<500℃)供给热量,使第二级氢反应床在350℃下吸收热量并持续放出35MPa的高压氢气,出二级换热器82的高温气体温度降至350℃,出一级氢气换热器94壳程的高温氢气温度降至350℃;同时第二级氢反应床高压氢气出口109处的阀门打开,放出的高压氢气从高压氢气出口109进入膨胀机14。

[0103] 第三级升压床结构的氢气换热管路通过阀门切换使第三级氢反应床分别与三级换热器93的管程和二级氢气换热器82的管程连通,由从三级换热器93壳程通过的高温气体(350℃)和二级氢气换热器82的壳程通过的高温氢气(200<t<350℃)供给热量,使得第三级氢反应床在200℃下吸收热量并持续放出35MPa的高压氢气,出三级换热器93的高温气体温度降至210℃,出二级氢气换热器82壳程的高温氢气温度降至200℃。同时第三级氢反应床高压氢气出口109处的阀门打开,放出的高压氢气从高压氢气出口109进入膨胀机14。

[0104] 冷却及吸氢阶段:

[0105] 放氢阶段后进入冷却及吸氢阶段,先关闭高压氢气出口109处的阀门;

[0106] 第一级升压床结构的氢气换热管路通过阀门切换使第一级氢反应床与一级氢气换热器94的壳程连通,与从一级氢气换热器94的管程通过的低温氢气(来自处于放氢阶段的第二级氢反应床)换热,先将放氢阶段结束时的显热传递给第二级氢反应床,第一级氢反应床温度降至350℃后,开始吸氢,这时打开低压氢气入口108处的阀门,同样通过换热管路将吸氢时放出的热量传递给第二级氢反应床放氢时使用。

[0107] 第二级升压床结构的氢气换热管路通过阀门切换使第二级氢反应床与二级氢气换热器82的壳程连通,与从二级氢气换热器82的管程通过的低温氢气(来自处于放氢阶段的第三级氢反应床)换热,先将放氢阶段结束时的显热传递给第三级氢反应床,第二级氢反应床温度降至200℃后,开始吸氢,这时打开低压氢气入口108处的阀门,同样通过换热管路将吸氢时放出的热量传递给第三级氢反应床放氢时使用。

[0108] 第三级升压床结构的氢气换热管路通过阀门切换使第三级氢反应床与冷却器74的壳程连通,与从冷却器74的管程通过的氢气(来自朗肯循环单元膨胀机)换热,先将放氢

阶段结束时的显热传递给朗肯循环单元,第三级氢反应床温度降至40℃后,开始吸氢,这时打开低压氢气入口108处的阀门,同样通过换热管路将吸氢时放出的热量传递给朗肯循环单元使用。

[0109] 升温放氢准备阶段:

[0110] 冷却及吸氢阶段结束后进入升温放氢准备阶段,首先关闭低压氢气进口阀门。

[0111] 然后,换热管路出口阀门全闭,换热介质入口87处的阀门微启,切换连通到:第一级氢反应床与一级换热器91管程连通;第二级氢反应床与二级换热器92的管程和一级氢气换热器94的管程连通;第三级氢反应床与三级换热器93的管程和二级氢气换热器92的管程连通;将反应床内压力升至与换热管路压力相同(35MPa);此为升压过程。

[0112] 然后,换热介质出口42阀门微启,切换连通到:第一级升压床结构与一级换热器91管程连通;第二级升压床结构与二级换热器92的管程和一级氢气换热器94的管程连通;第三级升压床结构与三级换热器93的管程和二级氢气换热器82的管程连通;形成换热循环回路,将反应床内温度升高到第一级(500℃),第二级(350℃),第三级(200℃);此为升温过程。

[0113] 最后,氢反应床内开始预放氢过程,微启高压氢气出口109阀门,输出高压氢气;随着放氢增加,处于升温放氢准备阶段氢反应床的高压氢气出口109阀门、换热介质出口42阀门、换热介质入口87阀门开度不断增加;于此相应地同一级中另一处于放氢阶段氢反应床的高压氢气出口109阀门、换热介质出口42阀门、换热介质入口87阀门开度不断减少;最终,升温放氢准备阶段的氢反应床进入到放氢阶段,原放氢阶段的氢反应床进入到冷却及吸氢阶段。

[0114] 本发明氧气直喷纯氢燃烧内燃机动力系统的运行方式为:氢燃料发动机燃料氢气来源氢化镁储罐,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80℃常压下进行,产生0.15MPa—0.5MPa的氢气,储存在低压氢气缓冲罐中,从低压氢气缓冲罐出来0.15MPa—0.5MPa的氢气经升压床升压到4MPa存储在高压氢气缓冲罐,高压氢气缓冲罐内4MPa的氢气通过进气孔进入氢燃料发动机气缸内,经过活塞压缩与氧气接触点燃。在氢化镁储罐内有氢气、氩气、少量水蒸汽、金属氢化镁及氢氧化镁粉末,在氢气出口设置氢气过滤膜,氢气过滤膜只容许氢气通过,不容许其它气体和物质通过。氧气来源于变压吸附制氧机,空气经过除尘净化后进入变压吸附制氧机,所有的氮气和部分氧气排放掉,制得的氧气O<sub>2</sub> 94.5%、氩气Ar 4%、氮气N<sub>2</sub>1.5%、压力0.15MPa,压力0.15MPa的氧气经过涡轮增压单元加压2MPa后,储存在高压氧气缓冲罐59中,从高压氧气缓冲罐出来的2MPa高压氧气,通过氧气喷嘴喷入氢燃料发动机气缸内。在氢燃料发动机气缸内氢气与纯氧浓燃产生1900℃高温(氢气过量20%)推动活塞做功,还原气氛下氧气与氮气反应生成氮氧化物的转化率很低,尾气中氮氧化物含量25PPm以下。

[0115] 氧气和氢在气缸内燃烧,为防止燃烧超温影响气缸及活塞寿命,采用喷入过量氢气浓燃的方式控制反应温度,氧气和氢气的摩尔混合比例1:2.4。控制氮氧化物的生成和排放的主要方法是:①采用纯氧燃烧,微量氮气参与燃烧只有微量的氮氧化物产生;②采用氢气浓燃,使燃烧在还原性气氛下进行,只有微量的氮氧化物生成,尾气主要成分是水蒸汽、少量的Ar氩气和未燃烧的过量氢气。发动机轴,发动机尾气膨胀机轴、复合式柯来浦单元的膨胀机轴共轴连接或不共轴连接分别输出轴功。循环水箱内添加的润滑剂对氢燃料发

动机整个系统运行无影响。

[0116] 氢燃料发动机气缸采用二冲程涡轮增压运行模式,采用二冲程运行模式,利用排出的尾气余压通过涡轮增压单元给氧气加压,尾气温度由820℃降到620℃,充分利用尾气能量增加氧气压力,提高发动机效率,氢气推动涡轮给氧气加压共同将氧气压力由0.15MPa加压到2MPa。在气缸排出的尾气中未反应的少量氧气与未燃烧的过量氢气在三元催化器中发生氧化化学反应(氧气浓度未达到爆炸极限),一定程度提高了尾气温度。尾气余热提供给复合式柯来浦单元,复合式柯来浦单元利用尾气余热发电满足变压吸附制氧机的电力需求或给蓄电池充电。经过复合式柯来浦单元利用后的低温尾气主要成分是:氩气、水蒸汽冷凝后的冷凝水、过量氢气和微量的氮氧化物,尾气经过气液分离器分离后,冷凝水通过单向阀(防止倒流)进入冷却水箱,作为气缸冷却介质冷却气缸同时回收热量。气液分离器 and 冷却水箱通过防冻剂补加口加入氯化钙,形成3%的氯化钙水溶液,在冬季可以耐受零下30度的低温不结冰。冷却水箱出口分为四路,一路通过循环冷却水管线连接到气缸的夹套,气缸的夹套通过复合式柯来浦单元连接到冷却水箱30,用于发动机和气缸的冷却;一路连接到氢化镁储罐的水气入口,冷却水箱中的热水通过水过滤膜过滤掉氯化钙,热水进入氢化镁储罐作为金属氢化镁的水化反应原料使用;一路通过尾气冷凝水循环管连接到涡轮增压单元的氧气入口,必要时可以添加冷凝水稀释氧气的浓度,防止发动机气缸纯氧、纯氢燃烧超温;一路通过补水管与水底壳循环连接,发动机气缸正常工作时,通过补水管给水底壳加水,冷却连杆、曲轴和活塞,发动机气缸停止工作时,水底壳的水通过三通阀、2号气液分离器104进入循环水箱102,由回水泵60将水打回冷却水箱,防止冬季冻冰堵管。

[0117] 整套氢内燃机动力系统吸入常温常压空气、排出常温常压氮气、杂质气,杂质气中有氮气、氩气、少量氧气、氮氧化物和少量润滑物气体(如果加入其它润滑剂的话)。氧气与氢气燃烧做功,高温尾气水蒸汽经涡轮增压单元利用余压,经复合式柯来浦单元利用余热冷凝后,作为氢化镁水化反应原料循环使用。

[0118] 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。在活塞环、活塞与气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;另一种形式是在气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;所述活塞环、活塞与气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,所述活塞环、活塞与气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、活塞与气缸壁之间也采用传统润滑形式,但是环保指数低,排出污染物多。

[0119] 作为水底壳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、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点火器点火,热机时可自点火,如采用图13的复合式柯来浦单元可吸收全部的冷凝热。

[0120] 本实施例除采用变压吸附制氧外,氧气也可采用空气深冷分离、电解水等其他方法制取。整套氢内燃机动力系统内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。整套氢内燃机动力系统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。

[0121] 本实施例的另一种运行方式如图26所示,一种氧气直喷纯氢燃烧内燃机动力系统包括ECU、氢燃料发动机、氢化镁储罐1、尾气膨胀机79、三元催化器7、涡轮增压单元58、柯来浦单元8、氢气提纯单元86、冷却水箱30、空气管路、气液分离器9和低压氢气缓冲罐56。涡轮增压单元58包括涡轮机64、压气机63和尾气压气机141,涡轮机64、压气机63和尾气压气机141同轴连接。氢燃料发动机为二冲发动机,包括气缸、缸盖和曲轴箱,缸盖设有火花塞36,气缸壁设有进气孔37和排气孔。氢化镁储罐的氢气出口设有氢气过滤膜2,气液分离器的气体出口设有气体过滤膜10,氢气提纯单元出口设有氢气分离膜100,冷却水箱30和气液分离器9设有排水口129。气液分离器水出口设有单向阀39,气液分离器9和冷却水箱30设有防冻剂补加口32。

[0122] 氢化镁储罐1的氢气出口与低压氢气缓冲罐56连接,低压氢气缓冲罐出口分为两路,一路经涡轮增压单元58的尾气压气机141连接到气缸的进气孔37,一路连接到柯来浦单元,柯来浦单元通过换热氢气管路连接到氢化镁储罐形成循环,将氢化镁储罐中的热量传递给柯来浦单元,为柯来浦单元提供热源。空气管路经涡轮增压单元58的压气机63连接到氢燃料发动机的进气孔37。气缸的排气孔通过涡轮增压单元58的涡轮机64、三元催化器7和柯来浦单元8连接到气液分离器9。柯来浦单元通过换热管路与凝汽器的管程循环连通,柯来浦单元的发电机与外部电力系统电路连接。气液分离器的气体出口通过氢气提纯单元86连接到氢化镁储罐的水气入口,氢气提纯单元的杂质气出口连接到外排管路。气液分离器水出口通过单向阀39连接到冷却水箱30,冷却水箱出口分为三路,一路通过循环冷却水管线31连接到气缸的夹套,气缸的夹套出口通过柯来浦单元8连接到冷却水箱30;一路通过水过滤膜33、伴热管线105连接到氢化镁储罐的水气入口;一路通过尾气冷凝水循环管19连接到空气管路,连接处设有水过滤膜33。

[0123] 该另一种运行方式的工作过程为:氢燃料发动机燃料氢气来源氢化镁储罐,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78℃常压下进行,产生0.14MPa—0.5MPa的氢气,储存在低压氢气缓冲罐中,从低压氢气缓冲罐出来0.14MPa—0.5MPa的氢气经涡轮增压后,通过进气孔37进入氢燃料发动机气缸内。在氢化镁储罐内有氢气、少量水蒸汽、金属氢化镁及氢氧化镁粉末,在氢气出口设置氢气过滤膜,氢气过滤膜只容许氢气通过,不容许其它气体和物质通过。空气经除尘净化后经涡轮增压单元加压到0.3MPa,通过进气孔37进入氢燃料发动机气缸内。在氢燃料发动机气缸内氢气与空气浓燃产生1400℃高温(氢气过量15%)推动活塞做功,还原气氛下氧气与氮气反应生成

氮氧化物的转化率很低,尾气中氮氧化物含量30PPm以下。

[0124] 控制氮氧化物的生成和排放的主要方法是采用氢气浓燃,使燃烧在还原性气氛下进行,只有微量的氮氧化物生成,尾气主要成分是水蒸汽、氮气和未燃烧的过量氢气。

[0125] 氢燃料发动机气缸采用二冲程涡轮增压运行模式,采用二冲程运行模式,利用排出的尾气余压通过涡轮增压单元给空气加压,尾气温度由720℃降到520℃,充分利用尾气能量增加空气压力,提高发动机效率,在气缸排出的尾气中未反应的少量氧气与未燃烧的过量氢气在三元催化器中发生氧化化学反应,一定程度提高了尾气温度。尾气余热提供给复合式柯来浦单元,复合式柯来浦单元利用尾气余热发电。经过复合式柯来浦单元利用后的低温尾气主要成分:氮气、水蒸汽冷凝后的冷凝水、过量氢气和微量的氮氧化物,尾气经过气液分离器分离后,冷凝水通过单向阀(防止倒流)进入冷却水箱,作为气缸冷却介质冷却气缸同时回收热量。气液分离器和冷却水箱通过防冻剂补加口加入氯化钙,形成3.5%的氯化钙水溶液,在冬季可以耐受零下35度的低温不结冰。冷却水箱出口分为三路,一路通过循环冷却水管线连接到气缸的夹套,气缸的夹套通过复合式柯来浦单元连接到冷却水箱30,用于发动机和气缸的冷却;一路连接到氢化镁储罐的水气入口,冷却水箱中的热水通过水过滤膜过滤掉氯化钙,热水进入氢化镁储罐作为金属氢化镁的水化反应原料使用;一路通过尾气冷凝水循环管连接到涡轮增压单元的空气入口,必要时可以添加冷凝水防止发动机气缸纯氢燃烧超温;所述氢燃料发动机设置油底壳;复合式柯来浦单元的膨胀机与发动机同轴或不同轴连接,利用尾气余热利用单元弥补发动机的动力不足问题。

[0126] 实施例3

[0127] 本发明第三实施方式如图8所示,包括氢燃料发动机、氢化镁储罐1、变压吸附制氧机4、三元催化器7、加压泵12、尾气余热利用单元、气液分离器9、冷却水箱30、氢气提纯单元86、循环水箱102、2号气液分离器104、涡轮增压单元58、低压氢气缓冲罐56和高压氧气缓冲罐59。氢化镁储罐的氢气出口设有氢气过滤膜2,气液分离器的气体出口设有气体过滤膜10,冷却水箱30和气液分离器9设有排水口129。循环水箱102设有润滑剂添加口103和排水口,排水口设有润滑剂过滤膜,排水口经润滑剂过滤膜、回水泵60连接到冷却水箱30。氢化镁储罐的水气入口设有伴热管路105,伴热管路入口设有水过滤膜33。涡轮增压单元58包括涡轮机64和压气机63,涡轮机64与压气机63同轴连接。氢燃料发动机为四冲程发动机,如图10所示,包括气缸5、水底壳6和曲轴箱35,缸体的顶部设有氧气喷嘴34、火花塞36、进气口38和排气孔41,曲轴箱35内设有曲轴45,缸体内为燃烧室46,气缸内设有活塞43,活塞通过连杆44与曲轴45连接。

[0128] 氢化镁储罐1的氢气出口与低压氢气缓冲罐56连接,低压氢气缓冲罐出口分为两路,一路连接到气缸的进气口38;一路连接到复合式柯来浦单元的尾气余热利用单元,复合式柯来浦单元通过换热氢气管路连接到氢化镁储罐形成循环,将氢化镁储罐中的热量传递给复合式柯来浦单元,为复合式柯来浦单元提供热源。变压吸附制氧机的氧气出口通过涡轮增压单元58的压气机63连接到加压泵12,加压泵的出口连接到高压氧气缓冲罐59,高压氧气缓冲罐的出口连接到气缸的氧气喷嘴34,变压吸附制氧机的氮气口连接至放空管路,氮气和部分氧气放空。气缸的排气孔通过涡轮增压单元的涡轮机64连接到三元催化器7,三元催化器的尾气出口通过复合式柯来浦单元连接到气液分离器,复合式柯来浦单元的发电机与外部电力系统电路连接。气液分离器水出口设有单向阀39,气液分离器9和冷却水箱30

均设有防冻剂补加口32。气液分离器的气体出口通过氢气提纯单元86连接到氢化镁储罐的水气入口,氢气提纯单元的杂质气出口连接到排放管路。气液分离器的水出口通过单向阀39连接到冷却水箱30,冷却水箱出口分为四路,一路通过循环冷却水管线31连接到气缸的夹套,气缸的夹套出口通过复合式柯来浦单元连接到冷却水箱30;一路通过水过滤膜33、伴热管线105连接到氢化镁储罐的水气入口;一路通过尾气冷凝水循环管19连接到涡轮增压单元的氧气入口,连接口设有水过滤膜33;一路连接到循环水箱102,入水口设有水过滤膜33。氢燃料发动机的水底壳6下部出口通过三通阀61连接到2号气液分离器104,2号气液分离器的气体出口连接到氢气提纯单元86,液体出口连接到循环水箱102,循环水箱通过补水管11和三通阀连接到水底壳6。

[0129] 复合式柯来浦单元的流程及运行过程与实施例2相同。本发明氧气直喷纯氢燃烧内燃机动力系统的运行方式为:氢燃料发动机燃料氢气来源氢化镁储罐,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75℃常压下进行,产生的氢气储存在低压氢气缓冲罐中,从低压氢气缓冲罐出来0.13MPa—0.5MPa的氢气通过进气口进入氢燃料发动机气缸内。在氢化镁储罐内有氢气、氩气、少量水蒸汽、金属氢化镁及氢氧化镁粉末,在氢气出口设置氢气过滤膜,氢气过滤膜只容许氢气通过,不容许其它气体和物质通过。氧气来源于变压吸附制氧机,空气经过除尘净化后进入变压吸附制氧机,所有的氮气和部分氧气排放掉,制得的氧气O<sub>2</sub> 94.5%、氩气Ar 4%、氮气N<sub>2</sub>1.5%、压力0.13MPa,压力0.13MPa的氧气经过涡轮增压单元加压到0.5MPa,再经过加压泵加压到2MPa后,储存在高压氧气缓冲罐59中,从高压氧气缓冲罐出来的2MPa高压氧气,通过氧气喷嘴喷入氢燃料发动机气缸内。含氮气量1.5%的氧气,在氢燃料发动机气缸内氢气与纯氧浓燃产生1700℃高温(氢气过量35%)推动活塞做功,还原气氛下氧气与氮气反应生成氮氧化物的转化率很低,尾气中氮氧化物含量15PPm以下。

[0130] 氧气和氢气在缸内燃烧,为防止燃烧超温影响气缸及活塞寿命,采用喷入过量氢气浓燃的方式控制反应温度,氧气和氢气的摩尔混合比例1:2.7。控制氮氧化物的生成和排放的主要方法是:①采用纯氧燃烧,微量氮气参与燃烧只有微量的氮氧化物产生;②采用氢气浓燃,使燃烧在还原性气氛下进行,只有微量的氮氧化物生成,尾气主要成分是水蒸汽、少量的Ar氩气和未燃烧的过量氢气。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、氧氢比例进行控制。发动机轴、发动机尾气膨胀机轴、复合式柯来浦单元的膨胀机轴共轴连接或不共轴连接分别输出轴功。循环水箱内添加的润滑剂对氢燃料发动机整个系统运行无影响。在活塞做功时,活塞在上止点和下止点的中间任意位置都可以选择排气,这时燃料可以比标准加入量多25%,如氧氢比例为1:2.5。

[0131] 氢燃料发动机气缸采用四冲程涡轮增压运行模式,利用排出的尾气余压通过涡轮增压单元给氧气加压,尾气温度由850℃降到650℃,氧气压力由0.13MPa增加到0.5MPa,充分利用尾气能量增加氧气压力,提高发动机效率。在气缸排出的尾气中未反应的少量氧气与未燃烧的过量氢气在三元催化器中发生氧化化学反应(氧气浓度未达到爆炸极限),一定程度提高了尾气温度。尾气余热提供给复合式柯来浦单元,复合式柯来浦单元利用尾气余热和冷凝热发电满足变压吸附制氧机的电力需求或给蓄电池充电。经过复合式柯来浦单元利用后的低温尾气主要成分是:氩气、水蒸汽冷凝后的冷凝水和过量氢气,尾气经过气液分离器分离后,冷凝水通过单向阀(防止倒流)进入冷却水箱,作为气缸冷却介质冷却气缸同

时回收热量。气液分离器和冷却水箱通过防冻剂补加口加入防冻剂氯化钙形成3%的氯化钙水溶液,在冬季可以耐受零下30度的低温不结冰。冷却水箱出口分为四路,一路通过循环冷却水管线连接到气缸的夹套,用于发动机和气缸的冷却;一路连接到氢化镁储罐的水气入口,冷却水箱中的热水通过水过滤膜过滤掉氯化钙,热水进入氢化镁储罐作为金属氢化镁的水化反应原料使用;一路通过尾气冷凝水循环管连接到涡轮增压单元的氧气入口,必要时可以添加冷凝水稀释氧气的浓度,防止发动机气缸纯氧、纯氢燃烧超温;一路通过补水管与水底壳连接,发动机气缸正常工作时,通过补水管给水底壳加水,冷却连杆、曲轴和活塞,发动机气缸停止工作时,水底壳的水通过三通阀、2号气液分离器104进入循环水箱102,由回水泵60将水打回冷却水箱,防止冬季冻冰堵管。

[0132] 整套氢内燃机动力系统吸入常温常压空气、排出常温常压氮气、杂质气,杂质气中有氮气、氩气、少量氧气、氮氧化物和少量润滑物气体(如果加入其它润滑剂的话)。氧气与氢气燃烧做功,高温尾气水蒸汽经涡轮增压单元利用余压,经复合式柯来浦单元利用余热冷凝后,作为氢化镁水化反应原料循环使用。氢化镁加水反应,生成氢氧化镁和氢气  $MgH_2 + 2H_2O = Mg(OH)_2 + 2H_2$  该反应在75℃常压下进行,产生低压的氢气供氢燃料发动机使用。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点火器点火,热机时可自点火,如采用图13的复合式柯来浦单元可吸收全部的冷凝热。

[0133] 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。在活塞环、活塞与气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;另一种形式是在气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;所述活塞环、活塞与气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,所述活塞环、活塞与气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、活塞与气缸壁之间也采用传统润滑形式,但是环保指数低,排出污染物多。

[0134] 作为水底壳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。本实施例除采用变压吸附制氧外,氧气也可采用空气深冷分离、电解水等其他方法制取。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。整套氢内燃机动力系统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。本实施例其它流程和原理与实施例1相同。

[0135] 本实施例的另一种运行方式如图27所示,一种氧气直喷纯氢燃烧内燃机动力系统包括ECU、氢燃料发动机、氢化镁储罐1、尾气膨胀机79、三元催化器7、涡轮增压单元58、柯来浦单元8、氢气提纯单元86、冷却水箱30、空气管路、气液分离器9和低压氢气缓冲罐56。涡轮增压单元58包括涡轮机64和压气机63,涡轮机64和压气机63同轴连接。氢燃料发动机为四冲程发动机,包括气缸5和曲轴箱35,缸体的顶部设有火花塞36、进气口38和排气孔,曲轴箱内设有曲轴,气缸内设有活塞43,活塞通过连杆与曲轴连接。氢化镁储罐的氢气出口设有氢气过滤膜2,气液分离器的气体出口设有气体过滤膜10,氢气提纯单元出口设有氢气分离膜100,冷却水箱30和气液分离器9设有排水口129。气液分离器水出口设有单向阀39,气液分离器9和冷却水箱30设有防冻剂补加口32。

[0136] 氢化镁储罐1的氢气出口与低压氢气缓冲罐56连接,低压氢气缓冲罐出口分为两路,一路连接到空气管路的涡轮增压单元58的涡轮机64入口,一路连接到柯来浦单元,柯来浦单元通过换热氢气管路连接到氢化镁储罐形成循环,将氢化镁储罐中的热量传递给柯来浦单元,为柯来浦单元提供热源。空气管路经涡轮增压单元58的压气机63连接到氢燃料发动机的进气口38。气缸的排气孔通过涡轮增压单元58的涡轮机64、三元催化器7和柯来浦单元8连接到气液分离器9。柯来浦单元的发电机与外部电力系统电路连接。气液分离器的气体出口通过氢气提纯单元86连接到氢化镁储罐的水气入口,氢气提纯单元的杂质气出口连接到外排管路。气液分离器水出口通过单向阀39连接到冷却水箱30,冷却水箱出口分为三路,一路通过循环冷却水管线31连接到气缸的夹套,气缸的夹套出口通过柯来浦单元8连接到冷却水箱30;一路通过水过滤膜33、伴热管线105连接到氢化镁储罐的水气入口;一路通过尾气冷凝水循环管19连接到空气管路,连接处设有水过滤膜33。

[0137] 该另一种运行方式的工作过程为:氢燃料发动机燃料氢气来源氢化镁储罐,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72℃常压下进行,产生的氢气储存在低压氢气缓冲罐中,从低压氢气缓冲罐出来0.12MPa—0.2MPa的氢气与空气混合后经涡轮增压单元加压到0.35MPa,通过进气口进入氢燃料发动机气缸内。在氢化镁储罐内有氢气、氮气、少量水蒸汽、金属氢化镁及氢氧化镁粉末,在氢气出口设置氢气过滤膜,氢气过滤膜只容许氢气通过,不容许其它气体和物质通过。空气经过除尘净化与氢气混合后,经涡轮增压单元加压到0.35MPa,通过进气口进入氢燃料发动机气缸内,在氢燃料发动机气缸内氢气与空气浓燃产生1380℃高温(氢气过量12%)推动活塞做功,还原气氛下空气与氮气反应生成氮氧化物的转化率很低,尾气中氮氧化物含量18PPm以下。

[0138] 空气和氢气在缸内燃烧,为防止燃烧超温影响气缸及活塞寿命,采用喷入过量氢气浓燃的方式控制反应温度。控制氮氧化物的生成和排放的主要方法是采用氢气浓燃,使燃烧在还原性气氛下进行,只有微量的氮氧化物生成。尾气主要成分是水蒸汽、氮气和未燃烧的过量氢气。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、空氢比例进行控制。氢燃料发动机气缸采用四冲程涡轮增压运行模式,利用排出的尾气余压通过涡轮增压单元给空气加压,尾气温度由750℃降到550℃,空气压力由0.1MPa增加到0.35MPa,充分利用尾气能量增加空气压力,提高发动机效率。在气缸排出的尾气中未反应的少量氧气与未燃烧的过量氢气在三元催化器中发生氧化化学反应,一定程度提高了尾气温度。尾气



余热提供给复合式柯来浦单元,复合式柯来浦单元利用尾气余热和冷凝热发电给蓄电池充电。经过复合式柯来浦单元利用后的低温尾气主要成分是:氮气、水蒸汽冷凝后的冷凝水和过量氢气,尾气经过气液分离器分离后,冷凝水通过单向阀(防止倒流)进入冷却水箱,作为气缸冷却介质冷却气缸同时回收热量。气液分离器和冷却水箱通过防冻剂补加口加入防冻剂氯化钙形成2.5%的氯化钙水溶液,在冬季可以耐受零下25度的低温不结冰。冷却水箱出口分为三路,一路通过循环冷却水管线连接到气缸的夹套,用于发动机和气缸的冷却;一路连接到氢化镁储罐的水气入口,冷却水箱中的热水通过水过滤膜过滤掉氯化钙,热水进入氢化镁储罐作为金属氢化镁的水化反应原料使用;一路通过尾气冷凝水循环管连接到涡轮增压单元的空气入口,必要时可以添加冷凝水,防止发动机气缸纯氢燃烧超温;所述氢燃料发动机设置油底壳;复合式柯来浦单元的膨胀机与发动机同轴或不同轴连接,利用尾气余热利用单元弥补发动机的动力不足问题。

#### [0139] 实施例4

[0140] 本发明第四种实施方式如图14所示,包括氢燃料发动机、氢化镁储罐1、升压床3、变压吸附制氧机4、三元催化剂7、尾气余热利用单元8、尾气膨胀机79、循环水箱102、2号气液分离器104、气液分离器9、冷却水箱30、加压泵12、回水泵60、氢气提纯单元86、低压氢气缓冲罐56、高压氢气缓冲罐57和高压氧气缓冲罐59。氢化镁储罐的氢气出口设有氢气过滤膜2,气液分离器的气体出口设有气体过滤膜10,冷却水箱30和气液分离器9设有排水口。循环水箱102设有润滑剂添加口103和排水口,排水口设有润滑剂过滤膜,排水口经润滑剂过滤膜、回水泵60连接到冷却水箱30。氢化镁储罐的水气入口设有伴热管路105,伴热管路入口设有水过滤膜33。气液分离器9和冷却水箱30均设有防冻剂补加口32。

[0141] 如图15所示,氢燃料发动机为小冲程高频发动机,包括气缸5、曲轴箱、水底壳6、稳压器132和排气通道89,稳压器上设有加水口133,水通过加水口进入稳压器中与高温尾气直接接触换热并全部转化为水蒸汽。小冲程高频发动机4个缸体的排气口与排气通道连通,排气通道89通过稳压器132连接到尾气膨胀机的入口,排气通道的外部设有冷却水套88。曲轴箱内设有曲轴45,每个气缸内设有活塞43,活塞通过连杆44与曲轴连接,曲轴一头与发电机同轴连接,另一头通过一级减速器77与尾气膨胀机79连接,尾气膨胀机的另一头通过二级减速器78与复合式柯来浦单元的膨胀机连接。其中,图15中尾气膨胀机79适用于压力小温度高的情况。如果将尾气膨胀机79换成汽轮机,则允许向排气通道89里面加水,降低了蒸汽的温度,但是提高了蒸汽的压力。

[0142] 氢化镁储罐1的氢气出口与低压氢气缓冲罐56连接,低压氢气缓冲罐出口分为两路,一路通过升压床3和高压氢气缓冲罐57连接到氢燃料发动机的氢气喷嘴13;一路连接到复合式柯来浦单元,复合式柯来浦单元通过换热氢气管路连接到氢化镁储罐形成循环,将氢化镁储罐中的热量传递给复合式柯来浦单元,为复合式柯来浦单元提供热源。变压吸附制氧机4的氧气出口通过加压泵12和高压氧气缓冲罐59连接到气缸的氧气喷嘴34,变压吸附制氧机的氮气口至放空管路,氮气和部分氧气放空。气缸的排气孔通过排气通道89连接到尾气膨胀机79的入口,尾气膨胀机的出口连接到三元催化剂7,三元催化剂的尾气出口分为两路,一路直接连接到复合式柯来浦单元,另一路通过升压床连接到复合式柯来浦单元,复合式柯来浦单元连接到气液分离器9,复合式柯来浦单元的发电机与外部电力系统电路连接。气液分离器水出口设有单向阀39,气液分离器9和冷却水箱30设有防冻剂补加口32。

气液分离器的气体出口通过氢气提纯单元86连接到氢化镁储罐的水气入口,氢气提纯单元的杂质气出口连接到排放管路。气液分离器的水出口通过单向阀39连接到冷却水箱30,冷却水箱出口分为四路,一路通过循环冷却水管线31连接到气缸的夹套,气缸的夹套出口通过复合式柯来浦单元连接到冷却水箱30;一路通过水过滤膜33、伴热管线105连接到氢化镁储罐的水气入口;一路通过尾气冷凝水循环管19连接到加压泵12入口,连接口设有水过滤膜33;一路连接到循环水箱102,入水口设有水过滤膜33。氢燃料发动机的水底壳6下部出口通过三通阀61连接到2号气液分离器104,2号气液分离的气体出口连接到氢气提纯单元86,液体出口连接到循环水箱102,循环水箱通过补水管11和三通阀连接到水底壳6。

[0143] 复合式柯来浦单元的流程及操作过程与实施例2相同。

[0144] 本实施例氢燃料发动机采用小冲程高频发动机。如图17所示,小冲程高频发动机的气缸由活塞分隔成上下独立的两部分,气缸的上下两部分均设有独立的燃料进口、氧气进口、排气口和启动点火器。活塞从气缸上止点到下止点的运动过程中,气缸的上部分先喷入氢燃料和氧气燃烧做功,然后进行排气;活塞从气缸下止点到上止点的运动过程中,气缸的下部分同样先喷入氢燃料和氧气燃烧做功,然后进行排气。气缸上部分燃料进口和氧气进口的开启可安排在活塞到达气缸上止点的前后,气缸上部分排气口的开启可安排在活塞从气缸上止点到下止点运行过程中的任意位置;气缸下部分燃料进口和氧气进口的开启安排在活塞到达气缸下止点的前后,气缸下部分排气口的开启安排在活塞从气缸下止点到上止点运行过程中的任意位置。高温高压的排气送到尾气膨胀机继续做功。

[0145] 小冲程高频发动机具有全氧气、自点火、尾气高温高压排放、小冲程、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。小冲程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。

[0146] 本发明氧气直喷纯氢燃烧内燃机动力系统的运行方式为:氢燃料发动机燃料氢气来源氢化镁储罐,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中,从低压氢气缓冲罐出来0.12MPa的氢气经升压床升压到4MPa后,进入高压氢气缓冲罐,从高压氢气缓冲罐出来4MPa的氢气,通过氢气喷嘴直喷进入氢燃料发动机气缸内。在氢化镁储罐内有氢气、氩气、少量水蒸汽、金属氢化镁及氢氧化镁粉末,在氢气出口设置氢气过滤膜,氢气过滤膜只容许氢气通过,不容许其它气体和物质通过。氧气来源于变压吸附制氧机,空气经过除尘净化后进入变压吸附制氧机,所有的氮气和部分氧气排放掉,制得的氧气 $O_2$  94.5%、氩气Ar4%、氮气 $N_2$ 1.5%、压力0.12MPa,再经过加压泵加压到2MPa后,储存在高压氧气缓冲罐59中,从高压氧气缓冲罐出来的2MPa高压氧气,通过氧气喷嘴喷入氢燃料发动机气缸内。在氢燃料发动机气缸内氢气与纯氧浓燃产生1800℃高温(氢气过量25%)推动活塞做功,还原气氛下氧气与氮气反应生成氮氧化物的转化率很低,尾气中氮氧化物含量20PPm。

[0147] 氧气和氢气都采用缸内直喷,为防止燃烧超温影响气缸及活塞寿命,采用喷入过量氢气浓燃的方式控制反应温度,氧气和氢气的摩尔混合比例1:2.5。控制氮氧化物的生成和排放的主要方法是:①采用纯氧燃烧,微量氮气参与燃烧只有微量的氮氧化物产生;②采用氢气浓燃,使燃烧在还原性气氛下进行,只有微量的氮氧化物生成,尾气主要成分是水蒸汽、少量的Ar氩气和未燃烧的过量氢气。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、氧氢比例进行控制。发动机轴,发动机尾气膨胀机轴、复合式柯来浦单元的膨胀机轴共轴连接或不共轴连接分别输出轴功。循环水箱内添加的润滑剂对氢燃料发动机整个系统运行无影响。在活塞做功时,活塞在上止点和下止点的中间任意位置都可以选择排气,如在做功后上止点和下止点1/3行程处进行排气,这时燃料可以比标准加入量多50%,如氧氢比例为1:2.3。

[0148] 氢燃料发动机为小冲程高频发动机,可以水平放置或卧式放置。在气缸排出的尾气中未反应的少量氧气与未燃烧的过量氢气在三元催化器中发生氧化化学反应(氧气浓度未达到爆炸极限),一定程度提高了尾气温度。尾气余热提供给复合式柯来浦单元,复合式柯来浦单元利用尾气余热发电满足变压吸附制氧机的电力需求或给蓄电池充电。经过复合式柯来浦单元利用后的低温尾气主要成分是:氩气、水蒸汽冷凝后的冷凝水、过量氢气和微量的氮氧化物,尾气经过气液分离器分离后,冷凝水通过单向阀(防止倒流)进入冷却水箱,作为气缸冷却介质冷却气缸同时回收热量。气液分离器和冷却水箱通过防冻剂补加口加入防冻剂氯化钙,形成5%的氯化钙水溶液,在冬季可以耐受零下40℃的低温不结冰。

[0149] 整套氢内燃机动力系统吸入常温常压空气、排出常温常压氮气、杂质气,杂质气中有氮气、氩气、少量氧气、氮氧化物和少量润滑物气体(如果加入其它润滑剂的话)。氧气与氢气燃烧做功,高温尾气水蒸汽经复合式柯来浦单元利用余热冷凝后,作为氢化镁水化反应原料循环使用。

[0150] 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。在活塞环、活塞与气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;另一种形式是在气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;所述活塞环、活塞与气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,所述活塞环、活塞与气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、活塞与气缸壁之间也采用传统润滑形式,但是环保指数低,排出污染物多。

[0151] 作为水底壳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点火器点火,热机时可自点火,如采用图13的复合式柯来浦单元可吸收全部的冷凝热。

[0152] 本实施例除采用变压吸附制氧外,氧气也可采用空气深冷分离、电解水等其他方法制取。整套氢内燃机动力系统内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。本发明氢内燃机动力系统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。本实施例其它流程和原理与实施例1相同。

[0153] 实施例5

[0154] 本发明第五种实施方式如图18所示,包括氢燃料发动机、氢化镁储罐1、升压床3、变压吸附制氧机4、三元催化器7、尾气余热利用单元8、循环水箱102、2号气液分离器104、气液分离器9、冷却水箱30、加压泵12、回水泵60、氢气提纯单元86、涡轮增压单元58、低压氢气缓冲罐56、高压氢气缓冲罐57和高压氧气缓冲罐59。氢化镁储罐的氢气出口设有氢气过滤膜2,气液分离器的气体出口设有气体过滤膜10,冷却水箱30和气液分离器9设有排水口129。循环水箱102设有润滑剂添加口103和排水口,排水口设有润滑剂过滤膜,排水口经润滑剂过滤膜、回水泵60连接到冷却水箱30。氢化镁储罐的水气入口设有伴热管路105,伴热管路入口设有水过滤膜33。涡轮增压单元58包括涡轮机64和压气机63,涡轮机64与压气机63同轴连接。气液分离器9和冷却水箱30均设有防冻剂补加口32。氢化镁储罐1的氢气出口与低压氢气缓冲罐56连接,低压氢气缓冲罐出口分为两路,一路通过升压床3和高压氢气缓冲罐57连接到氢燃料发动机的氢气喷嘴13;一路连接到复合式柯来浦单元,复合式柯来浦单元通过换热氢气管路连接到氢化镁储罐形成循环,将氢化镁储罐中的热量传递给复合式柯来浦单元,为复合式柯来浦单元提供热源。变压吸附制氧机4的氧气出口通过涡轮增压单元58的压气机63连接到加压泵12,加压泵的出口连接到高压氧气缓冲罐59,高压氧气缓冲罐的出口连接到气缸的氧气喷嘴34,变压吸附制氧机的氮气口至放空管路,氮气和部分氧气放空。

[0155] 如图22所示,氢燃料发动机为六缸小冲程高频发动机,可以水平放置或卧式放置,包括气缸5、曲轴箱、水底壳6和排气通道89。六缸小冲程高频发动机的前两个缸为氢气燃烧缸,氢气燃烧缸的上部和下部分别设有氢气喷嘴13和氧气喷嘴34;后四个缸为尾气膨胀缸,尾气膨胀缸的上部和下部分别设有尾气喷口130、氧气和水喷口131。曲轴箱内设有曲轴45,每个气缸内设有活塞43,活塞通过连杆44与曲轴连接,曲轴一头与发电机同轴连接,另一头通过减速器与复合式柯来浦单元8的膨胀机连接。氢气燃烧缸排出的高温高压的尾气通过尾气总管进入尾气膨胀缸内膨胀推动活塞做功。尾气膨胀缸气缸同样由活塞分隔成上下独立的两部分,气缸的上下两部分均设有独立的尾气进口和排气口。活塞到达气缸上止点时,气缸上部分的尾气进口打开,高温高压尾气、氧气和液态水进入气缸推动活塞下行做功,同时气缸下部分的尾气进口关闭,排气口打开,进行下部排气;活塞达到气缸下止点时,气缸下部分的尾气进口打开,高温高压尾气、氧气和液态水进入气缸推动活塞上行做功,同时气缸上部分的尾气进口关闭,排气口打开,进行上部排气。5MPa氧气、10MPa氢气进入氢气燃烧缸后,由于气缸的原有温度,使氢气达到着火点做功。在活塞做功时,活塞在上止点和下止点的中间任意位置都可以选择排气,由于提前排气,这时加入的氢燃料可增加至原配比的30%-800%。做功时,当活塞只进行到全程的25%时,排气阀打开,温度在2000℃-2500℃的尾气快速进入尾气膨胀缸。与之相对应的另一氢气燃烧缸也与之相同,如在做功后上止点和下止点1/4行程处进行排气,这时燃料可以比标准加入量多100%,如氧氢比例为1:2.2-1:

2.4之间进行调节。由于燃料增加使活塞运行速度增加,做功后氢气燃烧缸处于高温状态,紧接着下一个循环所加入的氧气和氢气迅速降低了缸内的温度,这种自保护措施能防止机件损坏。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。氢气燃烧缸中温度在2000℃、2MPa的尾气进入尾气膨胀缸,此时尾气中的主要成分是水蒸汽、氢气和少量的未反应氧气,进入尾气膨胀缸后与加入的液态水和加入的当量的氧气燃烧做功,将多余的氢气燃尽做功,在活塞完成全行程的4/5时,排气门打开,尾气降到1MPa、800℃进入排气通道。

[0156] 小冲程高频发动机4个尾气膨胀缸的排气口与排气通道89连通,排气通道89出口通过涡轮增压单元58的涡轮机64连接到三元催化器7。三元催化器的尾气出口分为两路,一路直接连接到复合式柯来浦单元,另一路通过升压床3连接到复合式柯来浦单元,复合式柯来浦单元连接到气液分离器9,复合式柯来浦单元的发电机与外部电力系统电路连接。气液分离器水出口设有单向阀39,气液分离器9和冷却水箱30设有防冻剂补加口32。气液分离器的气体出口通过氢气提纯单元86连接到氢化镁储罐的水气入口,氢气提纯单元的杂质气出口连接到排放管路。气液分离器的水出口通过单向阀39连接到冷却水箱30,冷却水箱出口分为四路,一路通过循环冷却水管线31连接到气缸的夹套,气缸的夹套出口通过复合式柯来浦单元连接到冷却水箱30;一路通过水过滤膜33、伴热管线105连接到氢化镁储罐的水气入口,一路通过尾气冷凝水循环管19连接到涡轮增压单元的氧气入口,连接口设有水过滤膜33;一路连接到循环水箱102,入水口设有水过滤膜33。氢燃料发动机的水底壳6下部出口通过三通阀61 连接到2号气液分离器104,2号气液分离的气体出口连接到氢气提纯单元86,液体出口连接到循环水箱102,循环水箱通过补水管11和三通阀连接到水底壳6。小冲程高频发动机具有全氧气、自点火、尾气高温高压排放、小冲程、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。小冲程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。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点火器点火,热机时可自点火,如采用图13的复合式柯来浦单元可吸收全部的冷凝热。

[0157] 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。在活塞环、活塞与气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;另一种形式是在气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;所述活塞环、活塞与气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,所述活塞环、活塞与气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、活塞与气缸壁之间也采用传统润滑形式,但是环保指数低,排出污染物多。

[0158] 本实施例除采用变压吸附制氧外,氧气也可采用空气深冷分离、电解水等其他方法制取。整套氢内燃机动力系统内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。本发明氢内燃机动力系统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。本实施例其它流程和原理与实施例4相同。

[0159] 实施例6

[0160] 本发明第六种实施方式I型改进式柯来浦单元为连接在实施例4的尾气膨胀机出口的余热发电装置,更优选的,I型改进式柯来浦单元尤其适用于电厂乏汽余热发电。

[0161] 如图23所示,I型改进式柯来浦单元包括2号换热中心76、升压床结构、低压氢气缓冲罐56、高压氢气缓冲罐57、低压氢气循环泵66、氢气泵95、有机工质压缩机84、有机工质膨胀机85、发电机15和蓄电池139;I型改进式柯来浦单元设有氢气检测器101,I型改进式柯来浦单元的外部包有充氮密封保护罩80。升压床结构为单级或多级;每组升压床结构分别设有1号氢反应床A、2号氢反应床B、3号氢反应床C,1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床均添加有金属氢化物,各组升压床结构的型式、结构以及金属储氢材料的种类和载量相同或不同,每组升压床结构内的各个氢反应床的型式、结构以及金属储氢材料的种类和载量相同或不同;1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床设有换热介质入口87、换热介质出口42、低压氢气入口108和高压氢气出口109,换热介质入口87、换热介质出口42、低压氢气入口108和高压氢气出口109分别设有阀门67;有机工质压缩机84、有机工质膨胀机85与发电机15同轴连接,发电机输出电路一路连接到蓄电池139,一路连接到外部电力系统;有机工质压缩机84设有电力驱动设备,用于开机时暖机运行,电力驱动设备与蓄电池139电路连接;乏蒸汽管路连接到2号换热中心76的凝汽器,凝汽器水出口连接到凝结水管路;有机工质压缩机84的出口通过高压氢气缓冲罐57分别连接到1号氢反应床A、2号氢反应床B和3号氢反应床C的换热介质入口87。1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的换热介质出口42通过氢气泵95连接到有机工质膨胀机85的入口,有机工质膨胀机85的中段出口通过低压氢气缓冲罐56、低压氢气循环泵66和四通阀90连接到1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的低压氢气入口108,1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的高压氢气出口109连接到有机工质膨胀机85的出口。

[0162] 本实施例中I型改进式柯来浦单元的工作过程为:以单级升压床结构为例,I型改进式柯来浦单元每级反应床结构设有3个氢反应床:1号氢反应床A、2号氢反应床B、3号氢反应床C。I型改进式柯来浦单元能实现稳定放氢,工作过程设置分为放氢、冷却及吸氢、升温放氢准备三个阶段。三个氢反应床交替放氢、冷却及吸氢和升温放氢的工作过程,保证连续不断的供应高压氢气。

[0163] 65℃的乏汽进入凝汽器,经过换热后冷凝为10℃左右的水经冷凝水管路引出。I型改进式柯来浦单元升压床结构的氢反应床产生的19.8MPa、200℃的高温高压氢气,进入有

机工质膨胀机85膨胀做功,高温高压氢气在有机工质膨胀机85膨胀做功过程中,中间抽出1.2MPa、-66℃的低温低压氢气,通过低压氢气缓冲罐56返回氢反应床用于吸氢,氢反应床吸氢后再加热放出19.8MPa、200℃的高温高压氢气,这部分氢气在有机工质膨胀机和氢反应床之间循环使用。19.8MPa、200℃的高温高压氢气在有机工质膨胀机85膨胀做功后,膨胀机出口0.66MPa、-94℃的低温低压氢气,进入凝汽器与热源换热升温到0.66MPa、45℃,进入有机工质压缩机84,经有机工质压缩机压缩升温升压到19.9MPa、567℃的高温高压氢气,通过高压氢气缓冲罐57后,进入氢反应床加热金属氢化物放出19.8MPa、200℃的高温高压氢气,加热介质19.9MPa、567℃的氢气温度也下降为200℃,二股氢气合并后一块进入有机工质膨胀机85膨胀做功。

[0164] 整个系统是利用热源,通过压缩机、氢反应床和膨胀机的联合循环对外做功发电。氢反应床放氢时直接加热,加热速度快响应时间短;吸氢时直接换热将吸氢反应放出的热量及时移出并利用;简化了工艺流程节约了设备投资,更重要的是大幅度的提高了换热效率、大幅度的减少了装置体积和占地面积。尤其I型改进式柯来浦单元适用于电厂设备,电厂的乏蒸汽管路连接到2号换热中心76的凝汽器,凝汽器通过凝结水管路连接到电厂;65℃的电厂乏汽进入凝汽器,经过换热后冷凝为10℃左右的水返回电厂循环使用;整个系统是利用电厂乏汽冷凝热和部分显热,通过压缩机、氢反应床和膨胀机的联合循环对外做功发电。

[0165] 本实施例中有有机工质压缩机84出口压力与氢反应床压力不一样时,可以像复合式柯来浦单元那样增设一台膨胀机与有机工质压缩机84同轴,氢反应床出口氢气直接进增设的膨胀机,做功后返回氢反应床吸氢;有机工质压缩机84出口高温氢气与氢反应床间接换热。

[0166] 实施例7

[0167] 本实施例第七种实施方式II型改进式柯来浦单元为连接在实施例4的尾气膨胀机出口的余热发电装置,更优选的,II型改进式柯来浦单元尤其适用于电厂乏汽余热发电。

[0168] 如图24所示,II型改进式柯来浦单元包括2号换热中心76、两组升压床结构、低压氢气缓冲罐56、高压氢气缓冲罐57、级间换热器140、低压氢气循环泵66、氢气泵95、有机工质压缩机84、有机工质膨胀机85、发电机15、蓄电池139、蒸汽管路和凝结水管路。II型改进式柯来浦单元设有氢气检测器101,II型改进式柯来浦单元的外部包有充氮密封保护罩80。两组升压床结构包括1号氢反应床A、2号氢反应床B和3号氢反应床C,1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床均添加有金属氢化物,各组升压床结构的型式、结构以及金属储氢材料的种类和载量相同或不同,每组升压床结构内的各个氢反应床的型式、结构以及金属储氢材料的种类和载量相同或不同;1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床设有换热介质入口87、换热介质出口42、低压氢气入口108和高压氢气出口109,换热介质入口87、换热介质出口42、低压氢气入口108和高压氢气出口109分别设有阀门67。有机工质压缩机84、有机工质膨胀机85与发电机15同轴连接,发电机输出电路一路连接到蓄电池139,一路连接到外部电力系统。有机工质压缩机84设有电力驱动设备,用于开机时暖机运行,电力驱动设备与蓄电池139电路连接。乏蒸汽管路连接到换热中心76的凝汽器,凝汽器水出口连接到凝结水管路。有机工质膨胀机85的出口连接到2号换热中心76,2号换热中心76连接到有机工质压缩机84的入口。

[0169] 有机工质压缩机84的出口通过高压氢气缓冲罐57和三通阀61分别连接到一级升压床结构的1号氢反应床A、2号氢反应床B和3号氢反应床C的换热介质入口87。一级升压床结构的1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的换热介质出口42通过级间换热器140的管程和三通阀61连接到一级升压床结构的1号氢反应床A、2号氢反应床B和3号氢反应床C的换热介质入口87。二级升压床结构的1号氢反应床A、2号氢反应床B和3号氢反应床C的换热介质入口87与级间换热器140的壳程出口连接,二级升压床结构的1号氢反应床A、2号氢反应床B和3号氢反应床C的换热介质出口42通过三通阀61、氢气泵95连接到级间换热器140的壳程入口,三通阀61的另一口分为两路,一路连接到有机工质膨胀机85的下部入口,另一路通过低压氢气循环泵66和四通阀90连接到一级升压床结构的1号氢反应床A、2号氢反应床B和3号氢反应床C的低压氢气入口108。一级升压床结构的1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的高压氢气出口109连接到二级升压床结构的1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的换热介质入口87。有机工质膨胀机85的中段出口通过低压氢气缓冲罐56和四通阀90连接到二级升压床结构的1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的低压氢气入口108。二级升压床结构的1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床的高压氢气出口109通过高压氢气缓冲罐57连接到有机工质膨胀机85的入口。

[0170] 本实施例中II型改进式柯来浦单元的工作过程为:以两组升压床结构为例,II型改进式柯来浦单元包括凝汽器、两组升压床结构、有机工质压缩机84、有机工质膨胀机85和发电机15、低压氢气缓冲罐56、高压氢气缓冲罐57和级间换热器140。下面三个罐为一级升压床结构,上面三个罐为二级升压床结构。每级升压床结构设有3个氢反应床:1号氢反应床A、2号氢反应床B、3号氢反应床C。II型改进式柯来浦单元能够实现稳定放氢,工作过程设置分为放氢、冷却及吸氢、升温放氢准备三个阶段。三个氢反应床交替放氢、冷却及吸氢和升温放氢的工作过程,保证连续不断的供应高压氢气。

[0171] 65℃的电厂乏汽进入凝汽器,经过换热后冷凝为10℃的水返回电厂循环使用。二级升压床结构的氢反应床产生19.8MPa、200℃的高温高压氢气,经高压氢气出口109、高压氢气缓冲罐57,进入有机工质膨胀机85膨胀做功,高温高压氢气在有机工质膨胀机85膨胀做功过程中,中间抽出1.2MPa、-66℃的低温低压氢气,通过低压氢气缓冲罐56返回二级升压床结构的氢反应床用于吸氢,二级升压床结构的氢反应床吸氢后,一部分进入一级升压床结构氢反应床吸氢,一部分携带吸氢放热回到膨胀机下部入口。一级升压床结构的氢反应床吸氢放出的200℃的高温热量,通过低压氢气循环泵66、级间换热器104,间接换热给二级升压床结构的氢反应床,充分利用一级升压床结构氢反应床吸氢时放出的余热给二级升压床结构氢反应床加热放氢。19.8MPa、200℃的高温高压氢气在有机工质膨胀机85膨胀做功后,膨胀机出口0.66MPa、-94℃的低温低压氢气,进入凝汽器与电厂乏汽换热升温到0.66MPa、45℃,进入有机工质压缩机84,经有机工质压缩机压缩升温升压到20MPa、567℃的高温高压氢气,通过高压氢气缓冲罐57后,进入一级升压床结构氢反应床加热放氢,放出19.9MPa、350℃的高温高压氢气进入二级升压床结构氢反应床加热放氢,放出19.8MPa、200℃的高温高压氢气,加热介质氢气温度也下降为200℃,二股氢气合并后一块进入有机工质膨胀机85膨胀做功。

[0172] 整个系统是利用电厂乏汽冷凝热和部分显热,通过压缩机、两组升压床结构和膨胀机的联合循环对外做功发电。利用多级升压床结构氢反应床吸热放氢做功比利用了单级



升压床结构氢反应床吸热放氢做功利用率提高了。氢反应床放氢时直接加热,加热速度快响应时间短;吸氢时直接换热将吸氢反应放出的热量及时移出并利用;简化了工艺流程节约了设备投资,更重要的是大幅度的提高了换热效率、大幅度的减少了装置体积和占地面积。

#### [0173] 实施例8

[0174] 本实施例第八种实施方式Ⅲ型改进式柯来浦单元为连接在实施例4的尾气膨胀机出口的余热发电装置,更优选的,Ⅲ型改进式柯来浦单元尤其适用于电厂乏汽余热发电。

[0175] 如图28所示,Ⅲ型改进式柯来浦单元包括2号换热中心76、两组升压床结构、低压氢气缓冲罐56、一级膨胀机96、二级膨胀机97、1号介质换热器142、2号介质换热器143、3号介质换热器98、级间换热器140、低压氢气循环泵66、氢气泵95、有机工质压缩机84、有机工质膨胀机85、发电机15、蓄电池139、蒸汽管路和凝结水管路。Ⅲ型改进式柯来浦单元设有氢气检测器101,Ⅲ型改进式柯来浦单元的外部包有充氮密封保护罩80。两组升压床结构分别包括1号氢反应床A、2号氢反应床B和3号氢反应床C,1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床均添加有金属氢化物,各组升压床结构的型式、结构以及金属储氢材料的种类和载量相同或不同,每组升压床结构内的各个氢反应床的型式、结构以及金属储氢材料的种类和载量相同或不同;1号氢反应床、2号氢反应床和3号氢反应床设有换热介质入口87、换热介质出口42、低压氢气入口108和高压氢气出口109,高压氢气出口设有过滤膜106和阀门67,低压氢气入口108设有阀门67。一级膨胀机96、二级膨胀机97、有机工质压缩机84、有机工质膨胀机85和发电机15同轴连接,发电机输出电路一路连接到蓄电池139,一路连接到外部电力系统。有机工质压缩机84设有电力驱动设备,用于开机时暖机运行,电力驱动设备与蓄电池139电路连接。乏蒸汽管路连接到2号换热中心76的凝汽器,凝汽器水出口连接到凝结水管路。有机工质膨胀机85的出口连接到2号换热中心76,2号换热中心76连接到有机工质压缩机84的入口。有机工质膨胀机85设有中段抽出口和中段入口。

[0176] 有机工质压缩机84的出口依次通过3号介质换热器98和1号介质换热器142的壳程连接到有机工质膨胀机85的入口,循环介质为二氧化碳。有机工质膨胀机85的中段抽出口通过2号介质换热器143的壳程连接到有机工质膨胀机85的中段入口。一级膨胀机96的出口连接到低压氢气缓冲罐56,低压氢气缓冲罐通过一级升压床结构的1号氢反应床A、2号氢反应床B和3号氢反应床C连接到一级膨胀机96的入口。二级膨胀机97的出口连接到低压氢气缓冲罐56,低压氢气缓冲罐通过二级升压床结构的1号氢反应床A、2号氢反应床B和3号氢反应床C连接到二级膨胀机97的入口。一级升压床结构的1号氢反应床A、2号氢反应床B和3号氢反应床C的换热介质出口42通过三通阀61分为两路,一路经3号介质换热器98的管程、氢气泵95和三通阀连接到1号氢反应床A、2号氢反应床B和3号氢反应床C的换热介质入口87,另一路经级间换热器140、低压氢气循环泵66和三通阀连接到1号氢反应床A、2号氢反应床B和3号氢反应床C的换热介质入口87。二级升压床结构的1号氢反应床A、2号氢反应床B和3号氢反应床C的换热介质出口42连接到四通阀90分为三路,一路经氢气泵95、1号介质换热器142的管程和四通阀连接到1号氢反应床A、2号氢反应床B和3号氢反应床C的换热介质入口87;一路经低压氢气循环泵66和2号介质换热器143的管程和四通阀连接到1号氢反应床A、2号氢反应床B和3号氢反应床C的换热介质入口87;一路经氢气泵95和级间换热器140的管程和四通阀连接到1号氢反应床A、2号氢反应床B和3号氢反应床C的换热介质入口87。

[0177] 本实施例中Ⅲ型改进式柯来浦单元的工作过程为:65℃的电厂乏汽进入2号换热中心76,经过换热后冷凝为10℃的水返回电厂循环使用。二氧化碳经2号换热中心76加热到45℃、0.1MPa,进入有机工质压缩机84压缩到420℃、3MPa,有机工质压缩机84出口的420℃、3MPa二氧化碳进入3号换热器98,出3号换热器98的320℃、3MPa二氧化碳进入1号换热器142,换热后200℃、3MPa的二氧化碳进入有机工质膨胀机85膨胀做功,膨胀做功后-55℃、0.1MPa的二氧化碳经2号换热中心76加热到45℃、0.1MPa循环使用。有机工质膨胀机85中段抽出口-30℃、0.35MPa的二氧化碳进入2号换热器143,升温到20℃、0.35MPa后返回有机工质膨胀机85的中段入口。

[0178] 一级氢反应床结构通过氢气泵95用氢气将3号换热器98的高温350℃以上热量带入氢反应床,直接加热金属氢化物产生35MPa、350℃的高温高压氢气,进入一级膨胀机96膨胀做功,一级膨胀机96出口的2MPa、200℃氢气,经氢气缓冲罐56返回一级氢反应床结构吸氢,一级氢反应床结构吸氢过程中放出的热量,通过低压氢气泵66用氢气将热量传递给级间换热器140,一级氢反应床中氢气封闭循环使用。

[0179] 二级氢反应床结构通过氢气泵95用氢气将1号换热器142的高温200℃以上热量带入氢反应床,同时通过氢气泵95用氢气将级间换热器140的高温200℃热量带入氢反应床,直接加热金属氢化物产生35MPa、200℃的高温高压氢气,进入二级膨胀机97膨胀做功,二级膨胀机97出口的2MPa、60℃氢气,经氢气缓冲罐56返回二级氢反应床结构吸氢,二级氢反应床结构吸氢过程中放出的热量,通过低压氢气泵66用氢气将热量传递给2号换热器143,二级氢反应床结构中氢气封闭循环使用。

[0180] 整个系统是利用电厂乏汽冷凝热和部分显热,通过压缩机、多级氢反应床结构和膨胀机的联合循环对外做功发电。利用多级氢反应床结构吸热放氢做功比利用了单级氢反应床结构吸热放氢做功利用率提高了。利用二氧化碳作为换热和做功介质安全稳定、价格便宜。

[0181] 本发明所有升压床和柯来浦单元的氢反应床除采用氢气直接进入加热放氢外,还可以采用外部换热或抽出金属储氢材料换热模式。氢反应床金属氢化物吸氢放氢的供氢方式,适用于与管道氢气、氢气压缩罐或液化氢气罐等形式的罐装氢气供氢方式结合使用,以弥补传统供氢方式的不足:压力不高的管道氢气通过升压床提高压力,罐装氢气随着使用压力逐渐降低,则通过金属氢化物与水反应放出稳定压力的氢气弥补压力下降的不足。

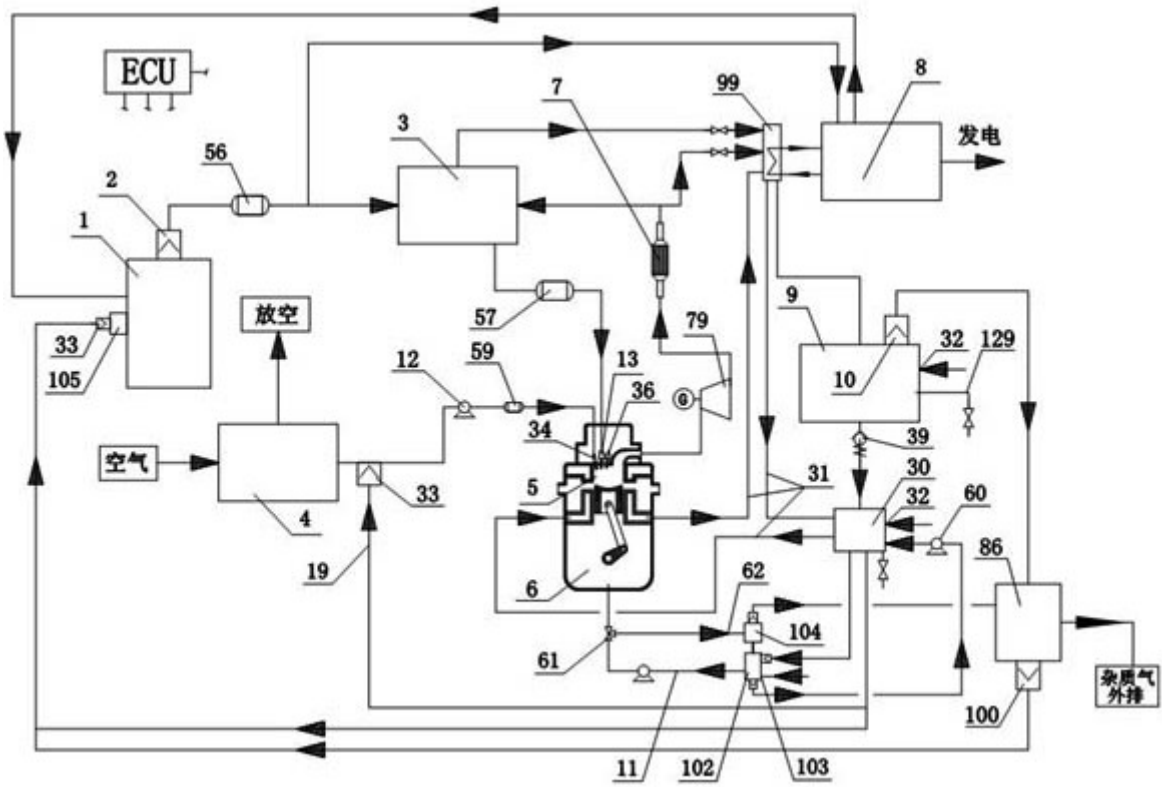


图1

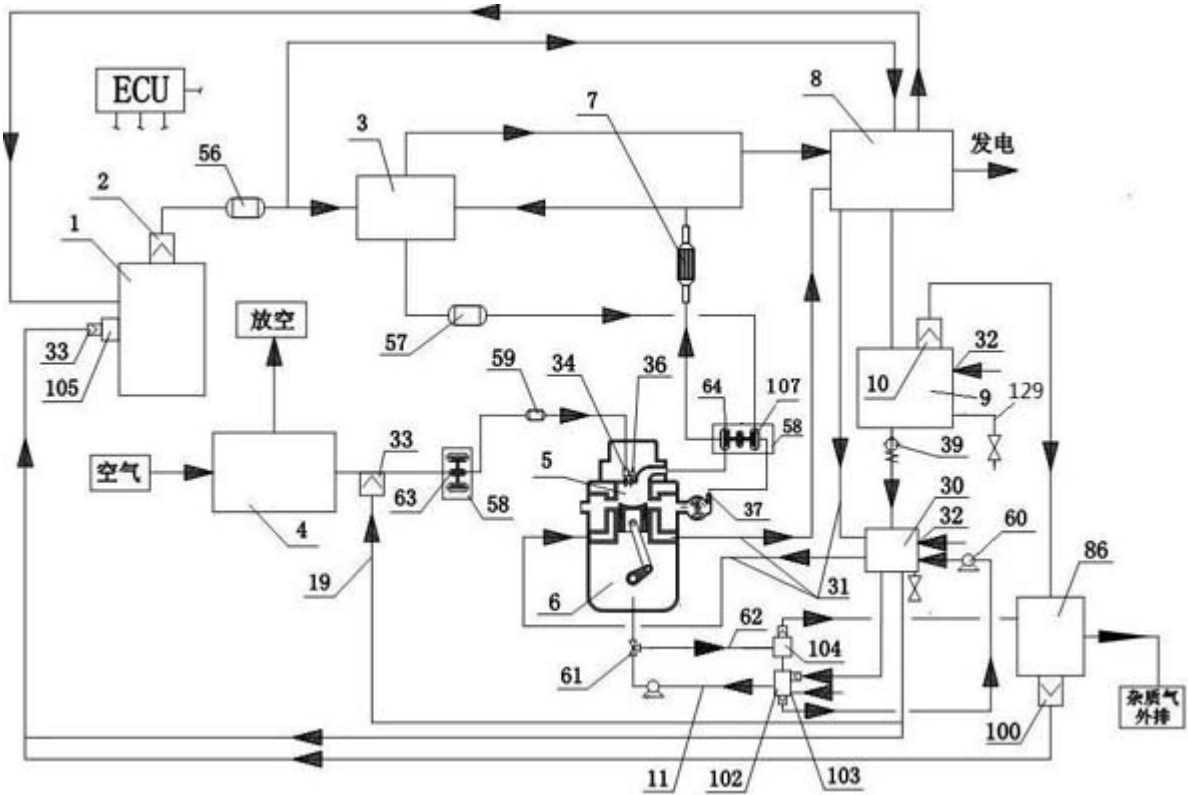


图2

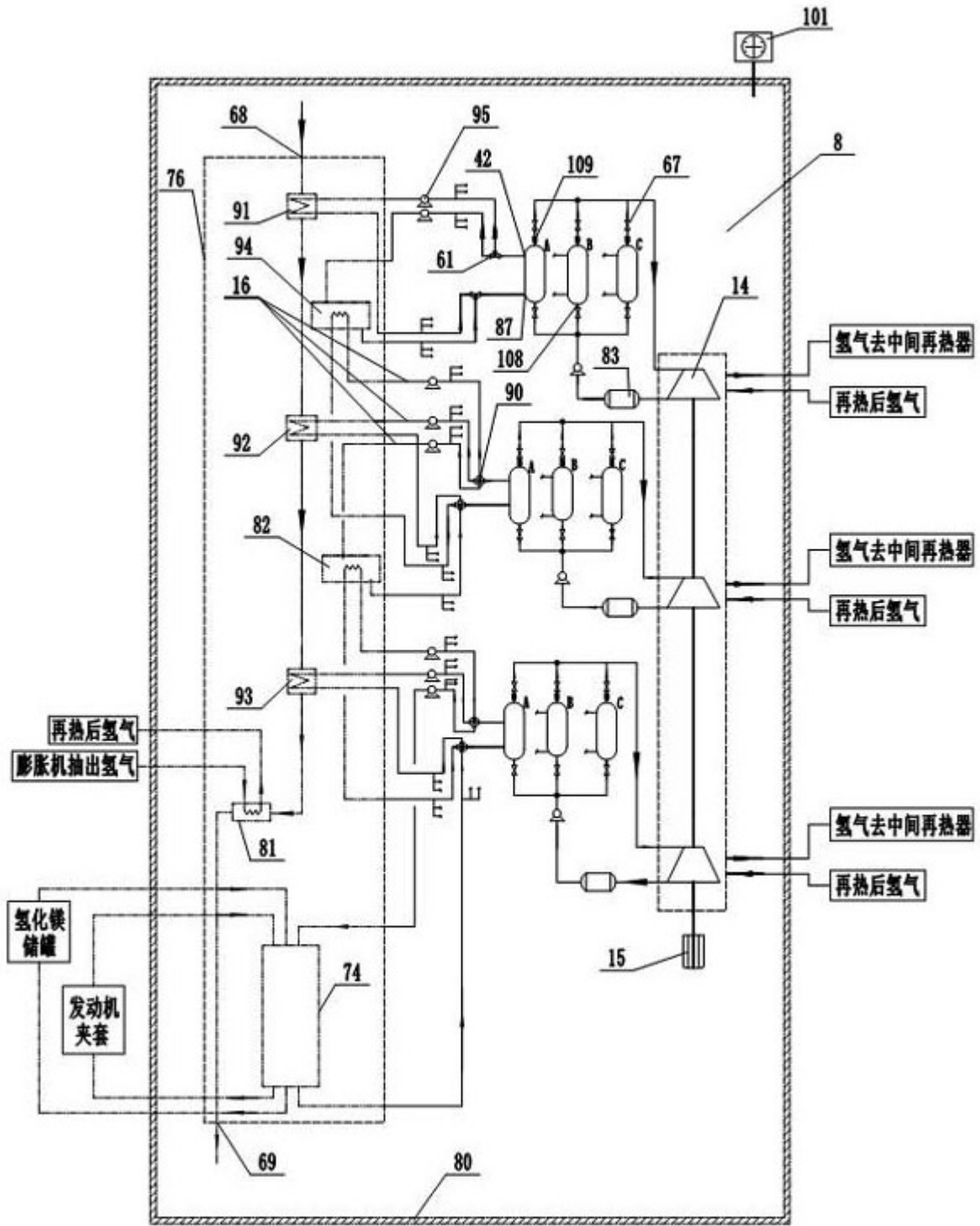


图3

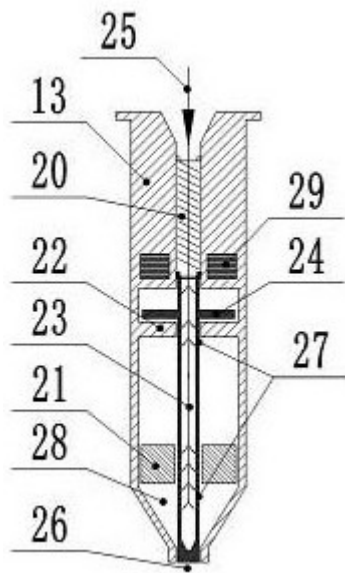


图4

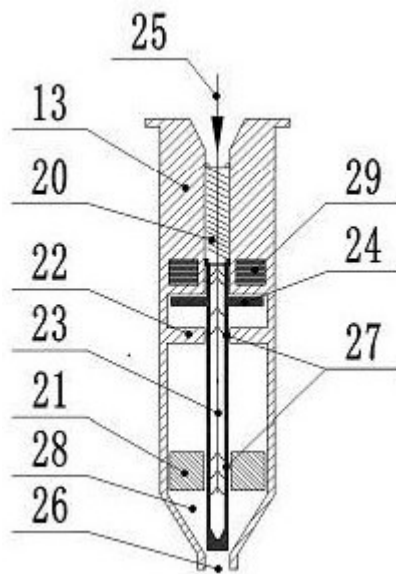


图5

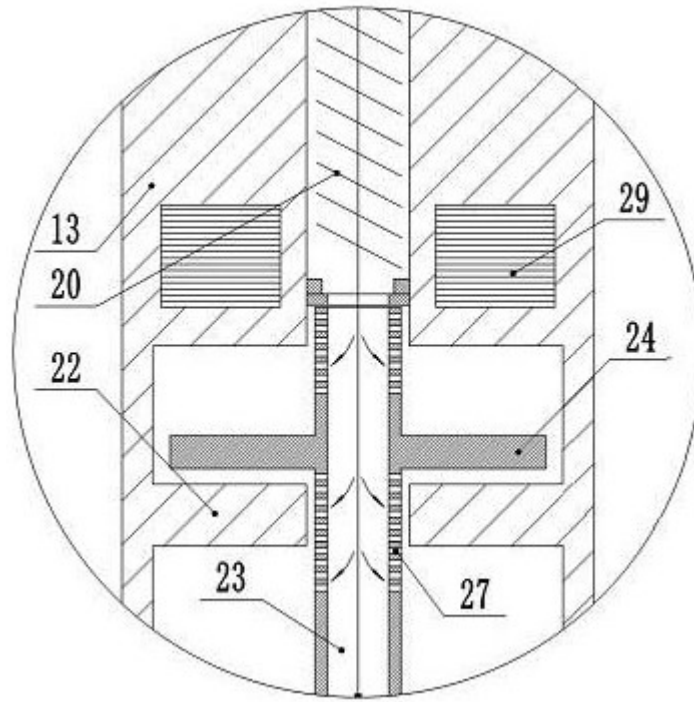


图6

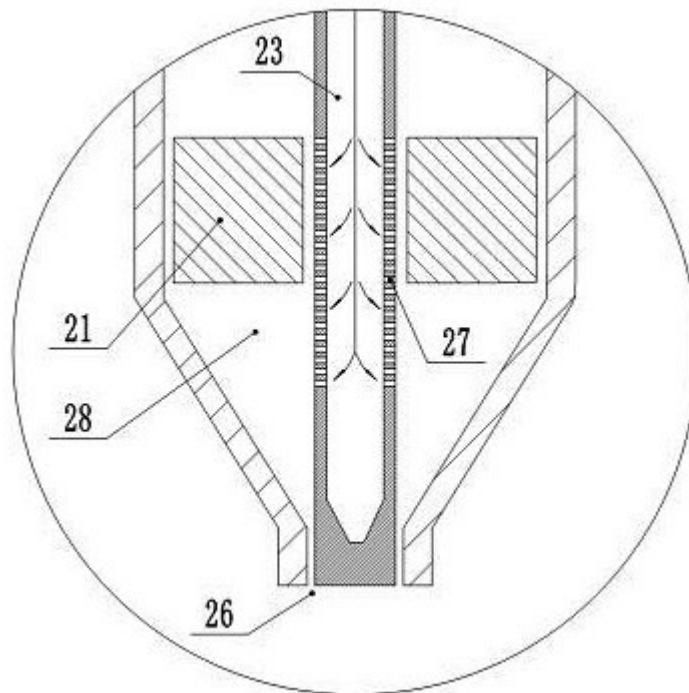


图7

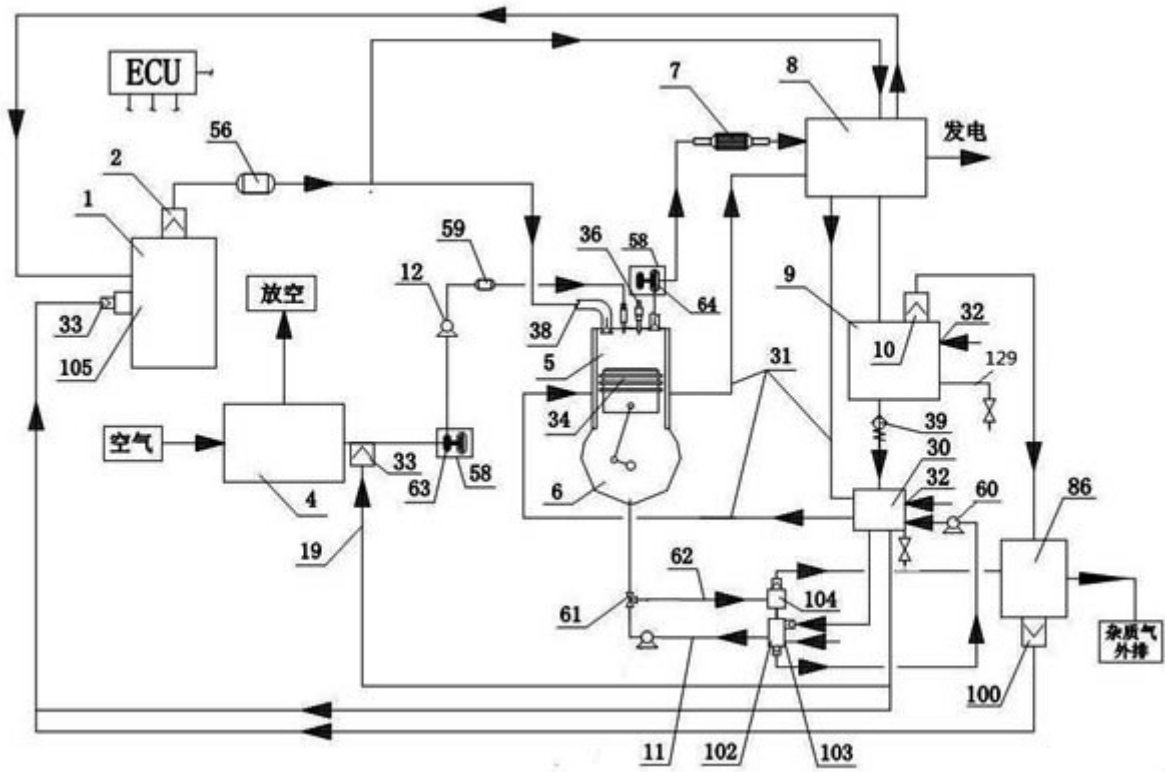


图8

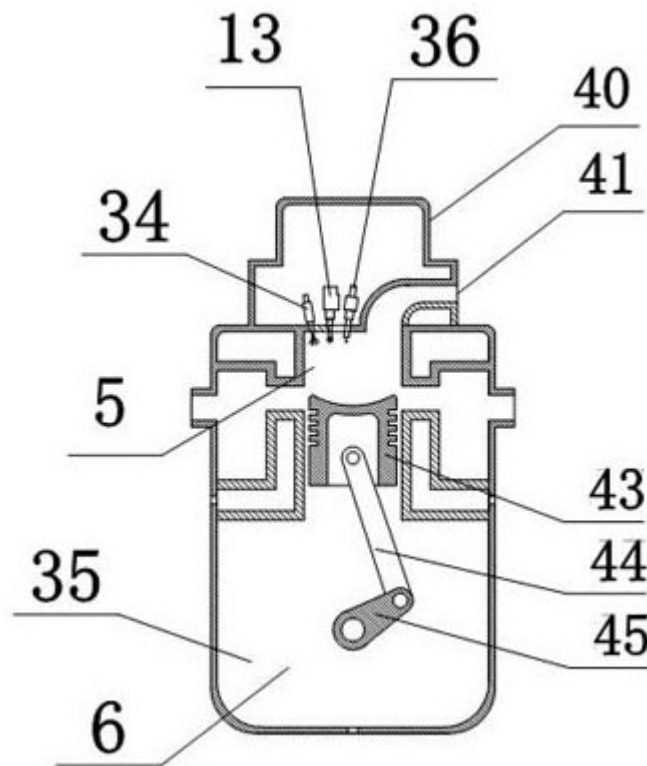


图9

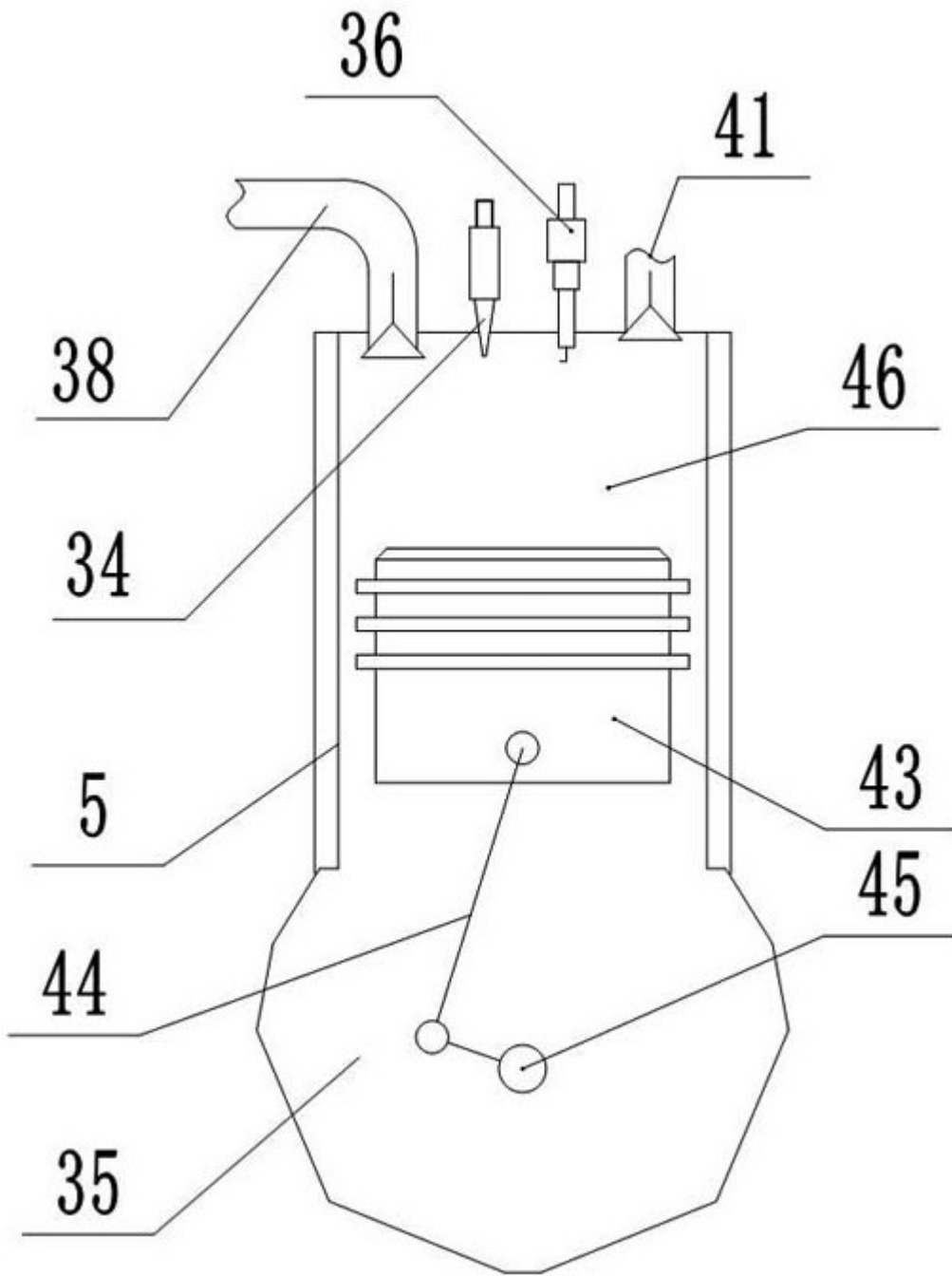


图10



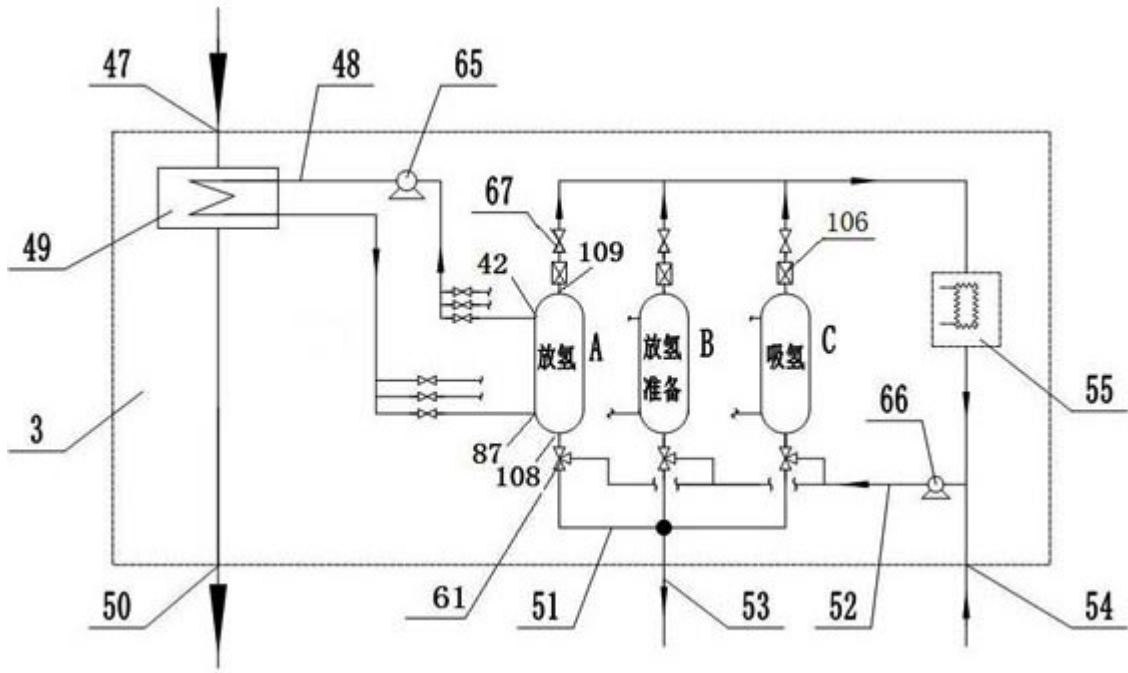


图11

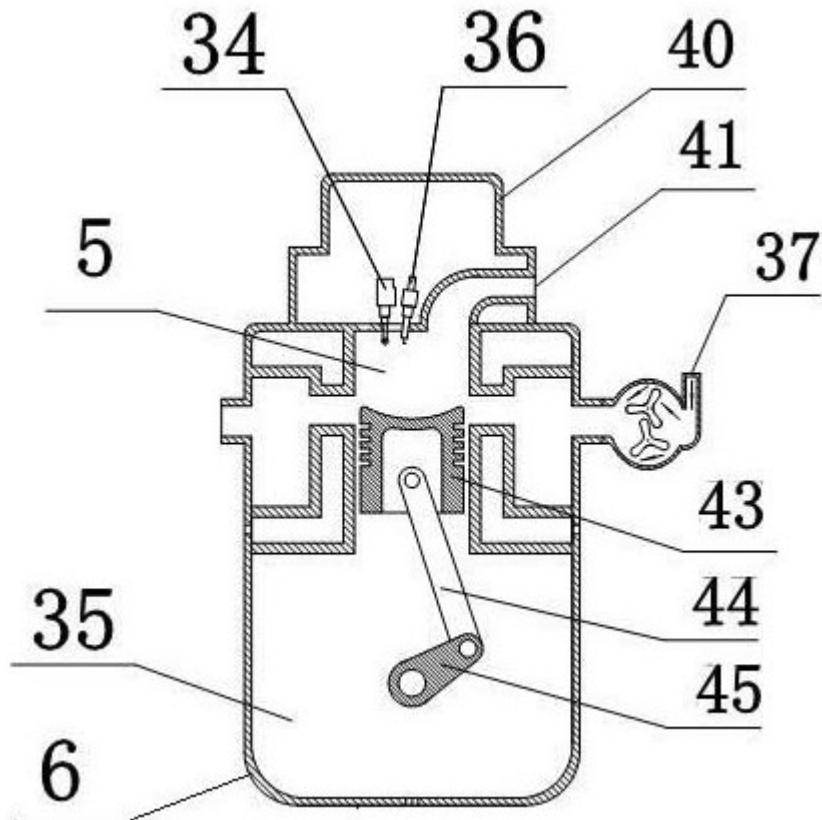


图12

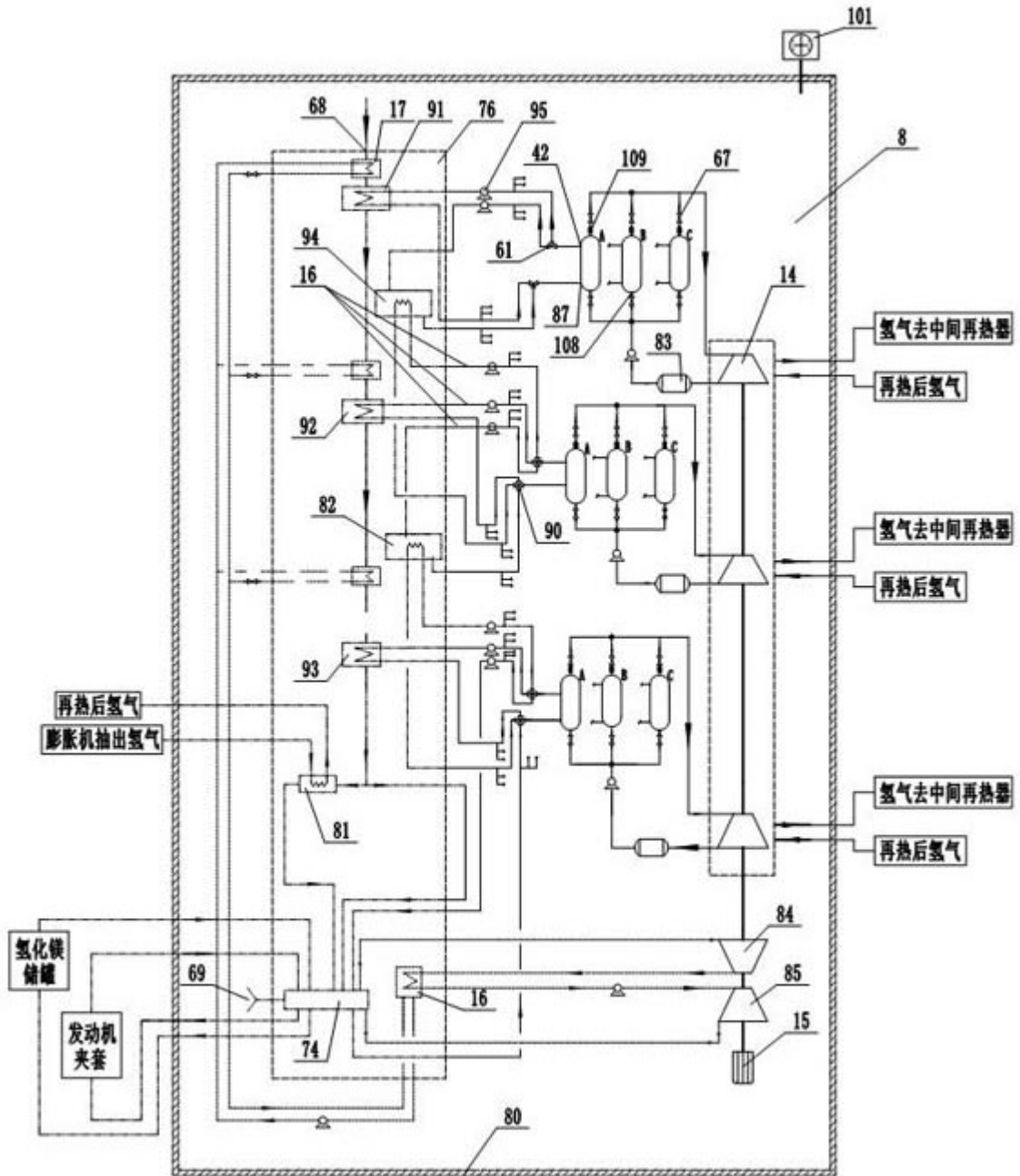


图13

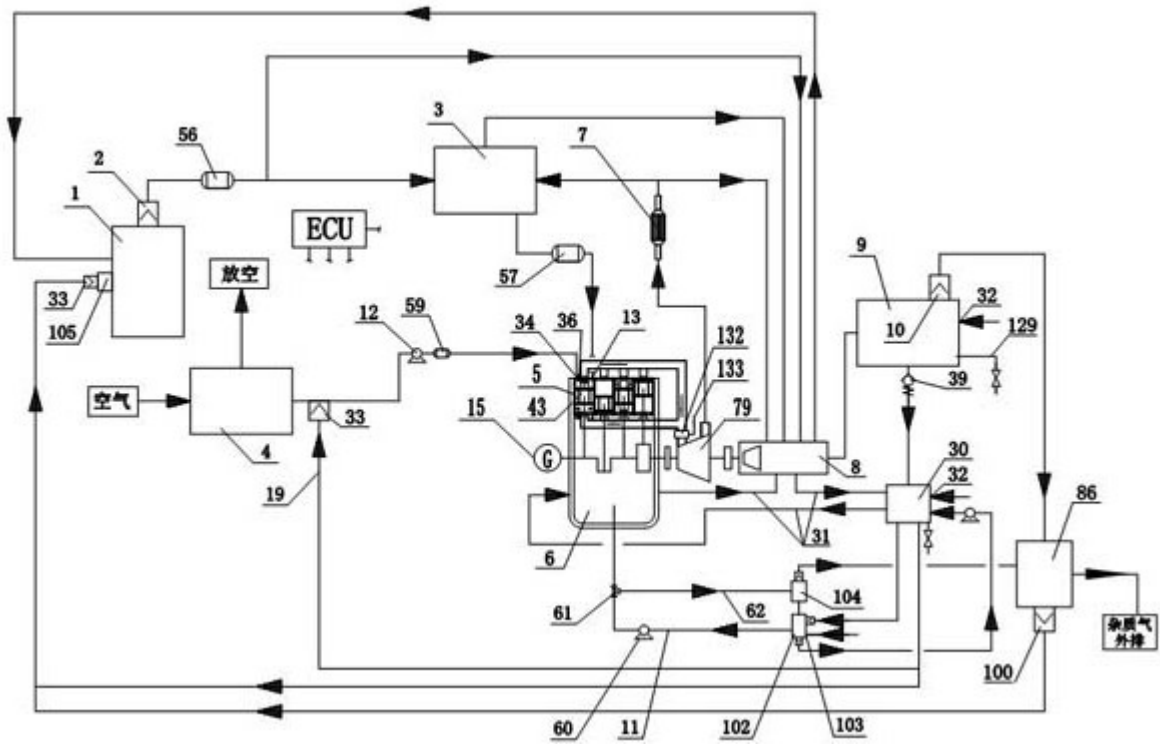


图14

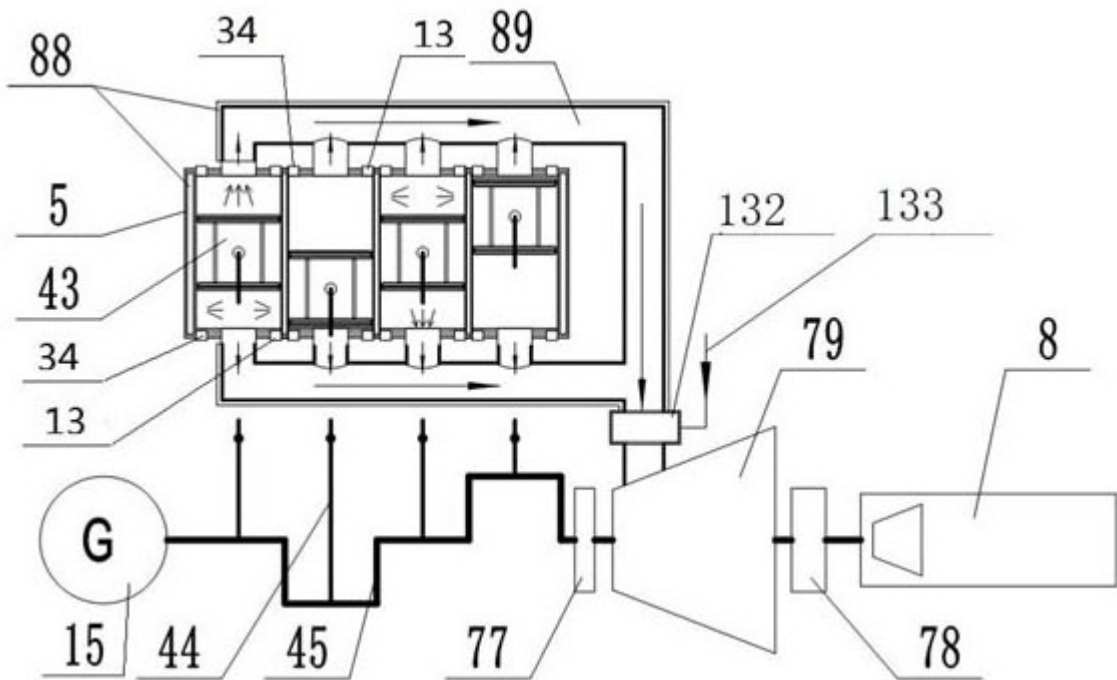


图15

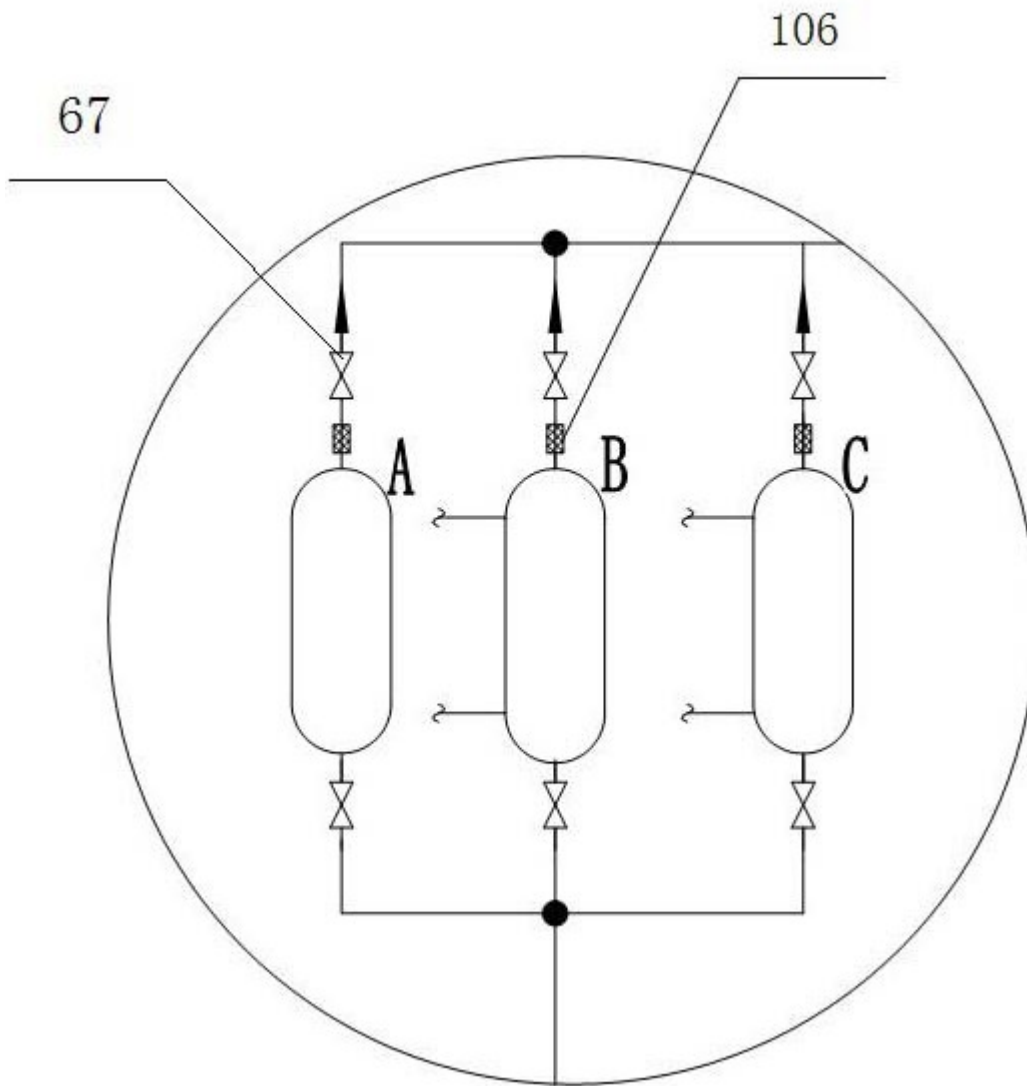


图16

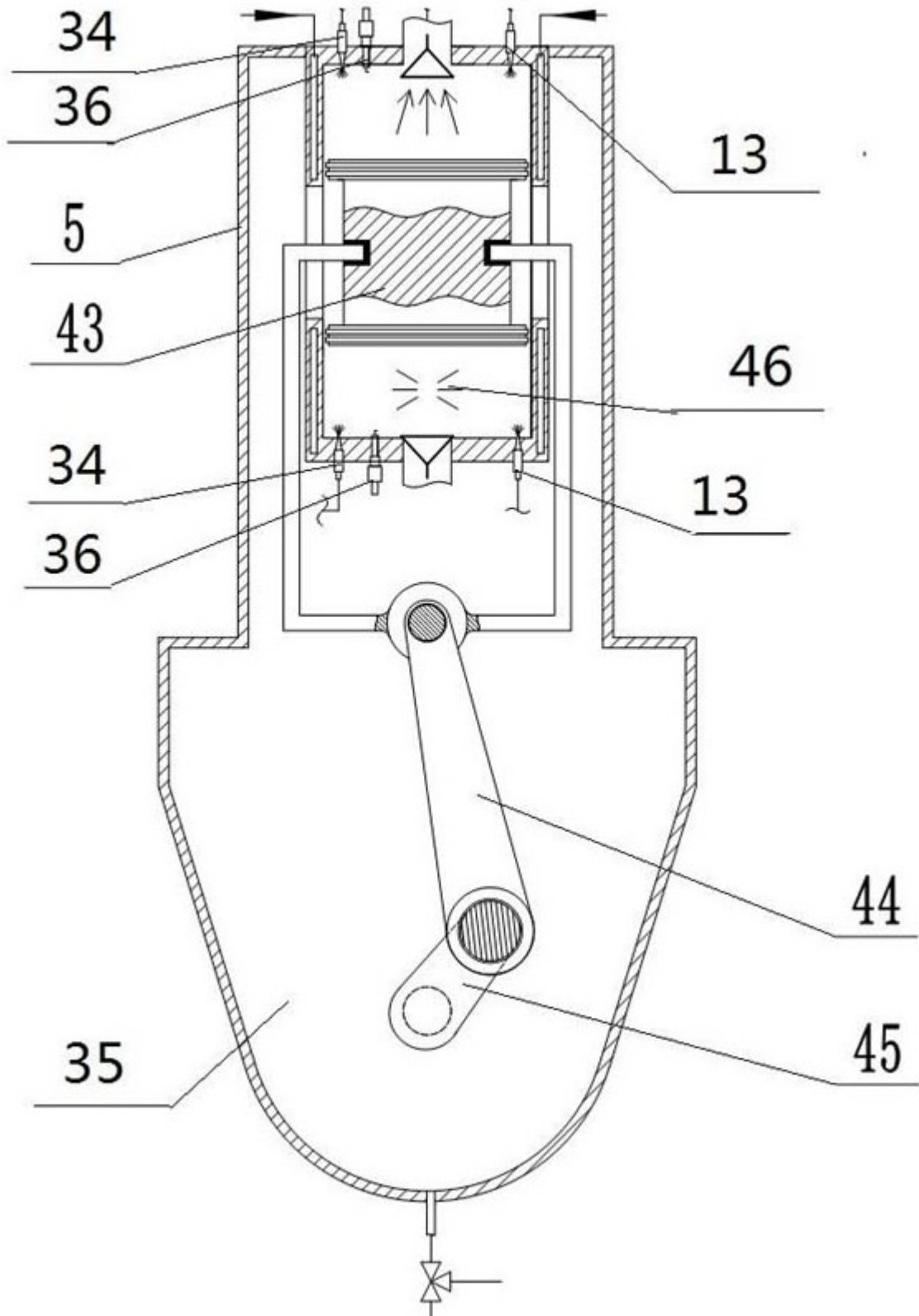


图17

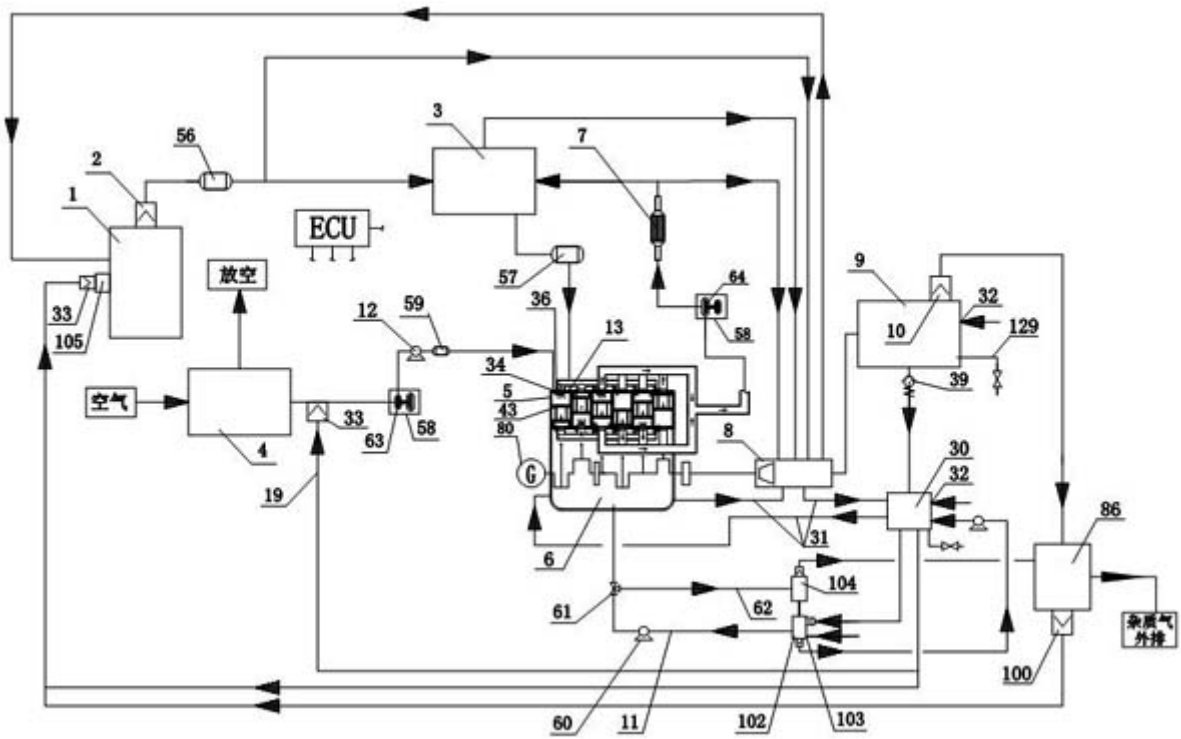


图18

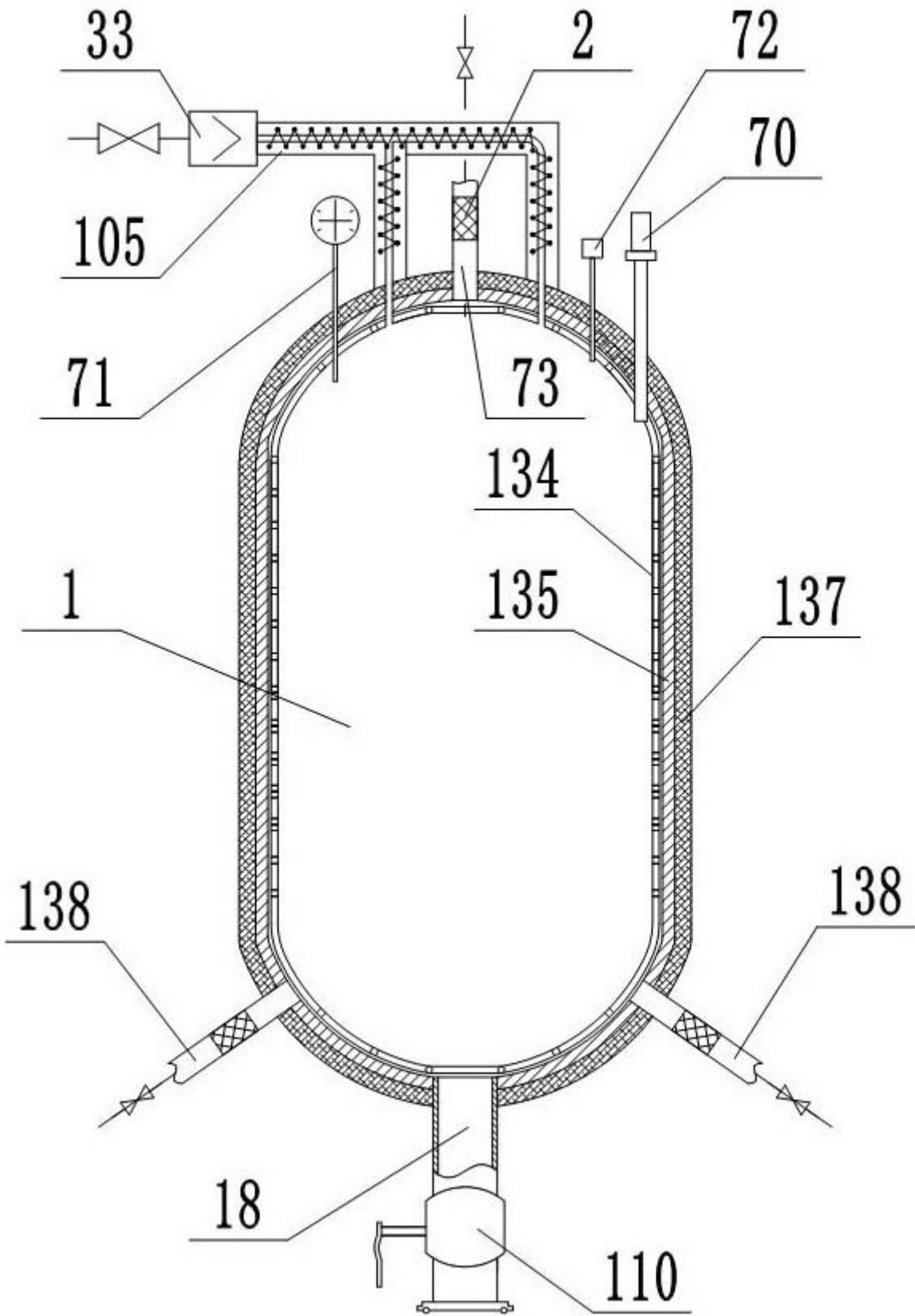


图19

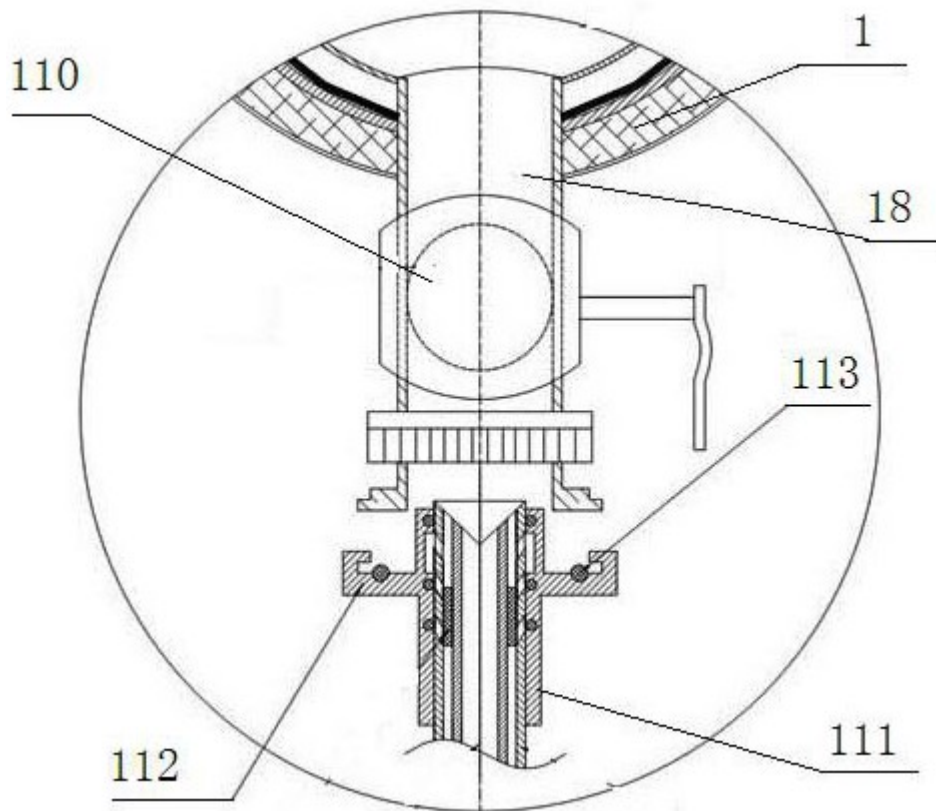


图20

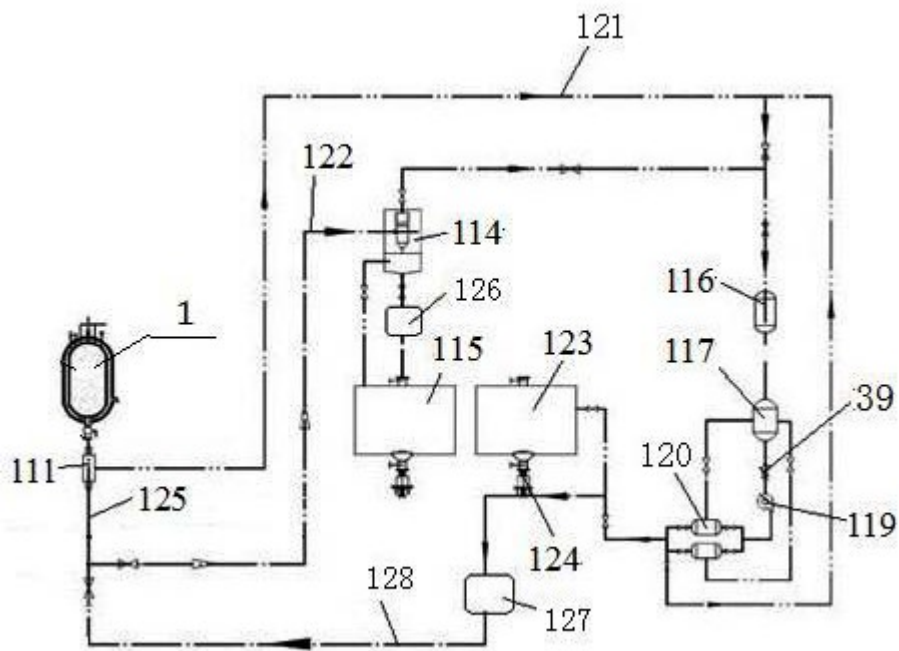


图21





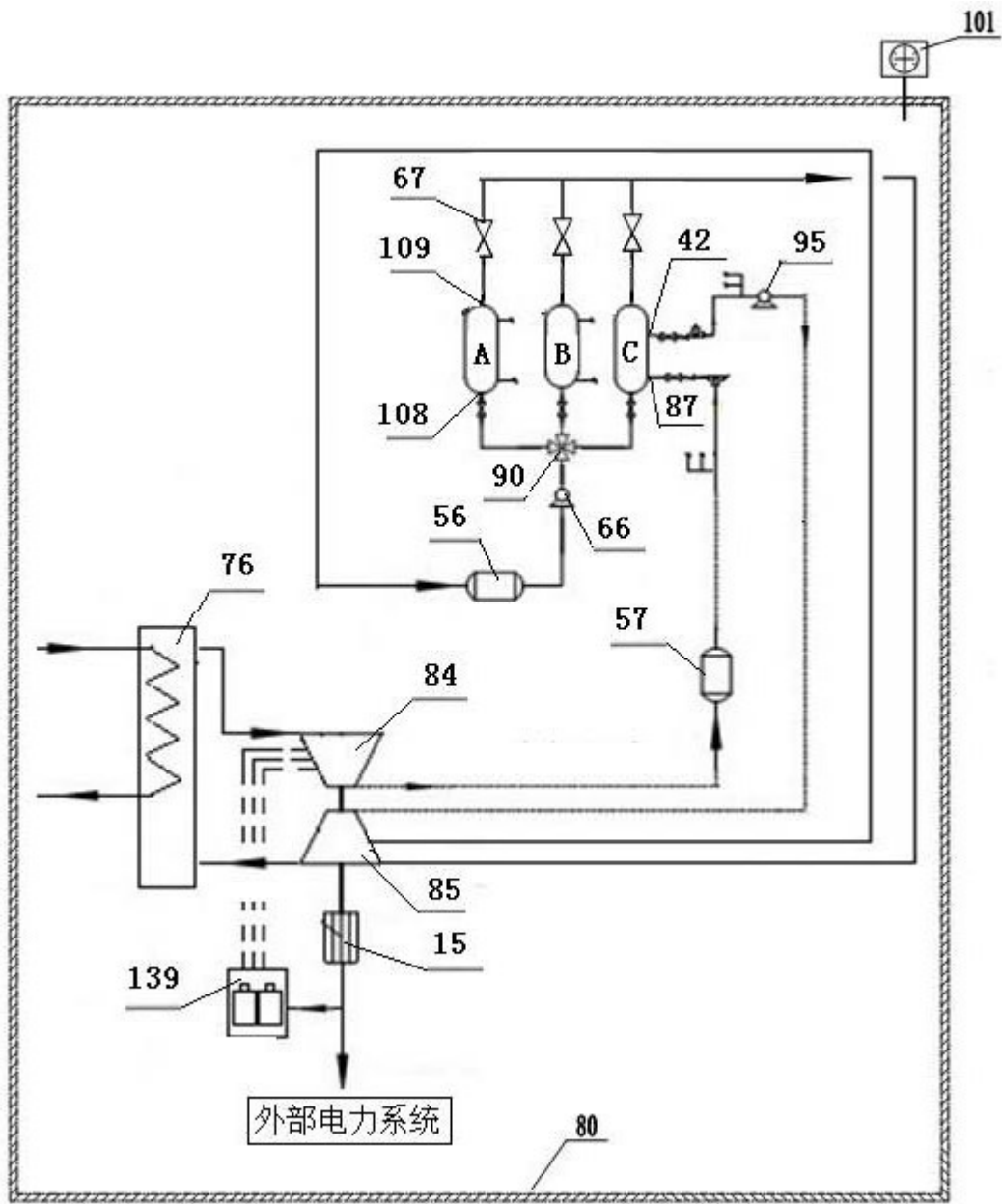


图23

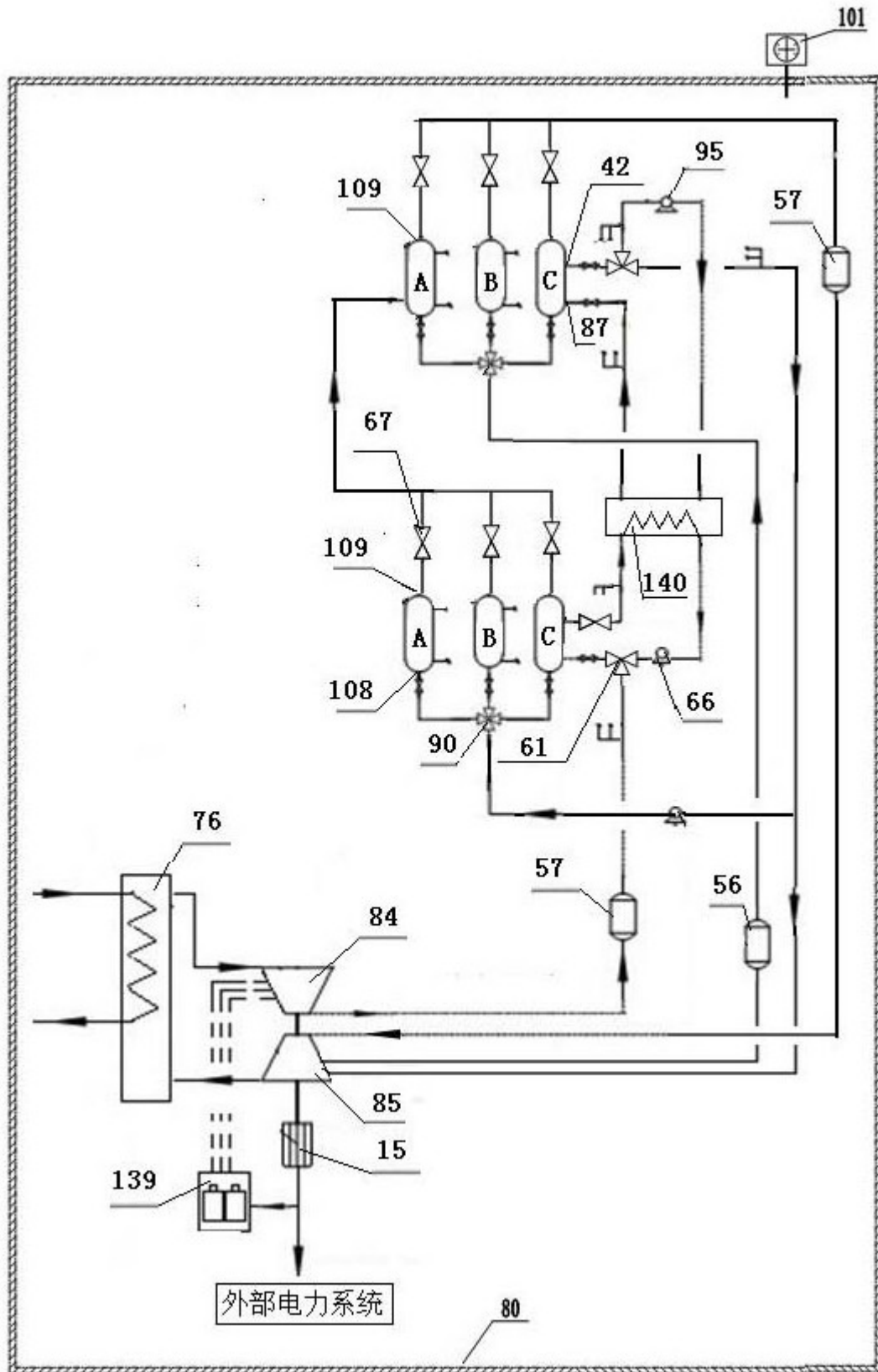


图24

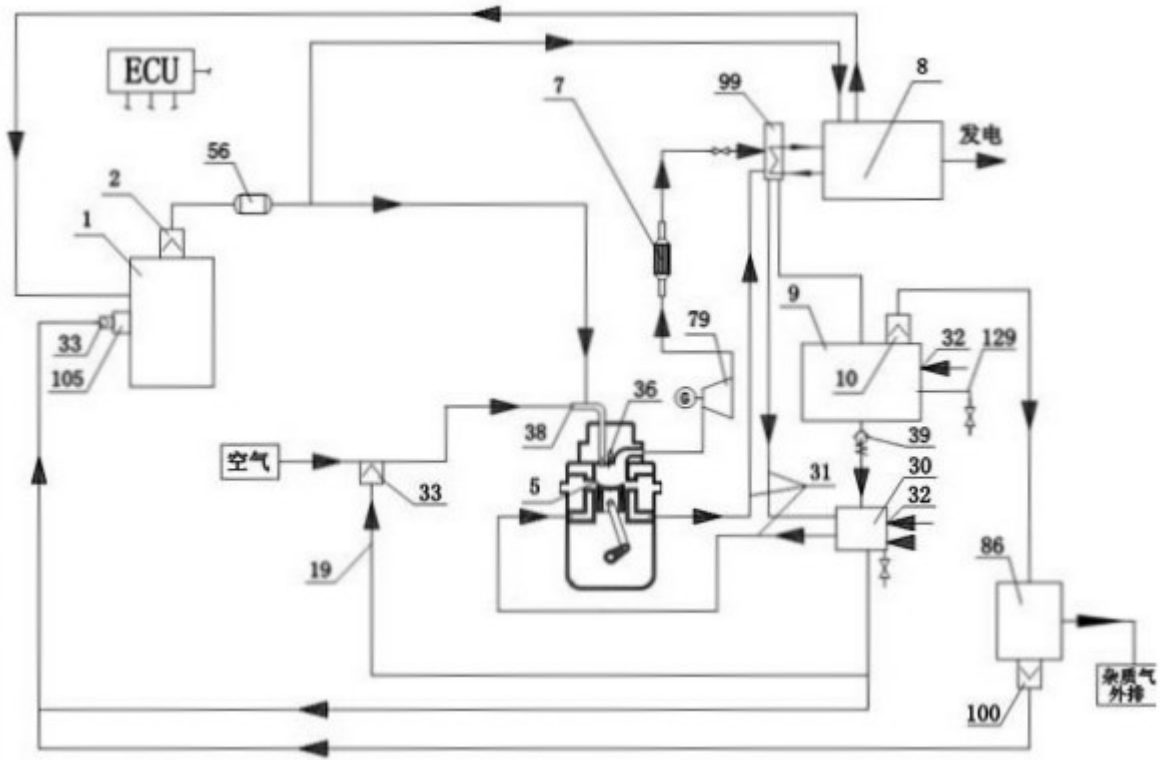


图25

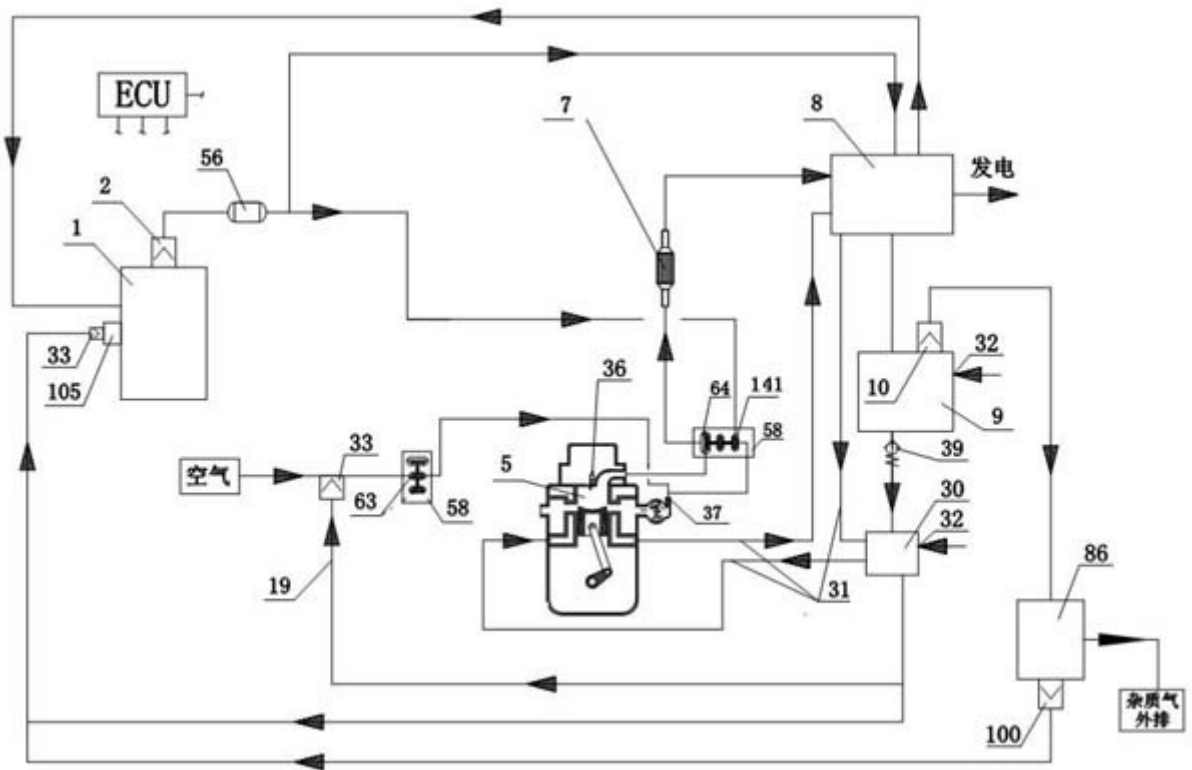


图26



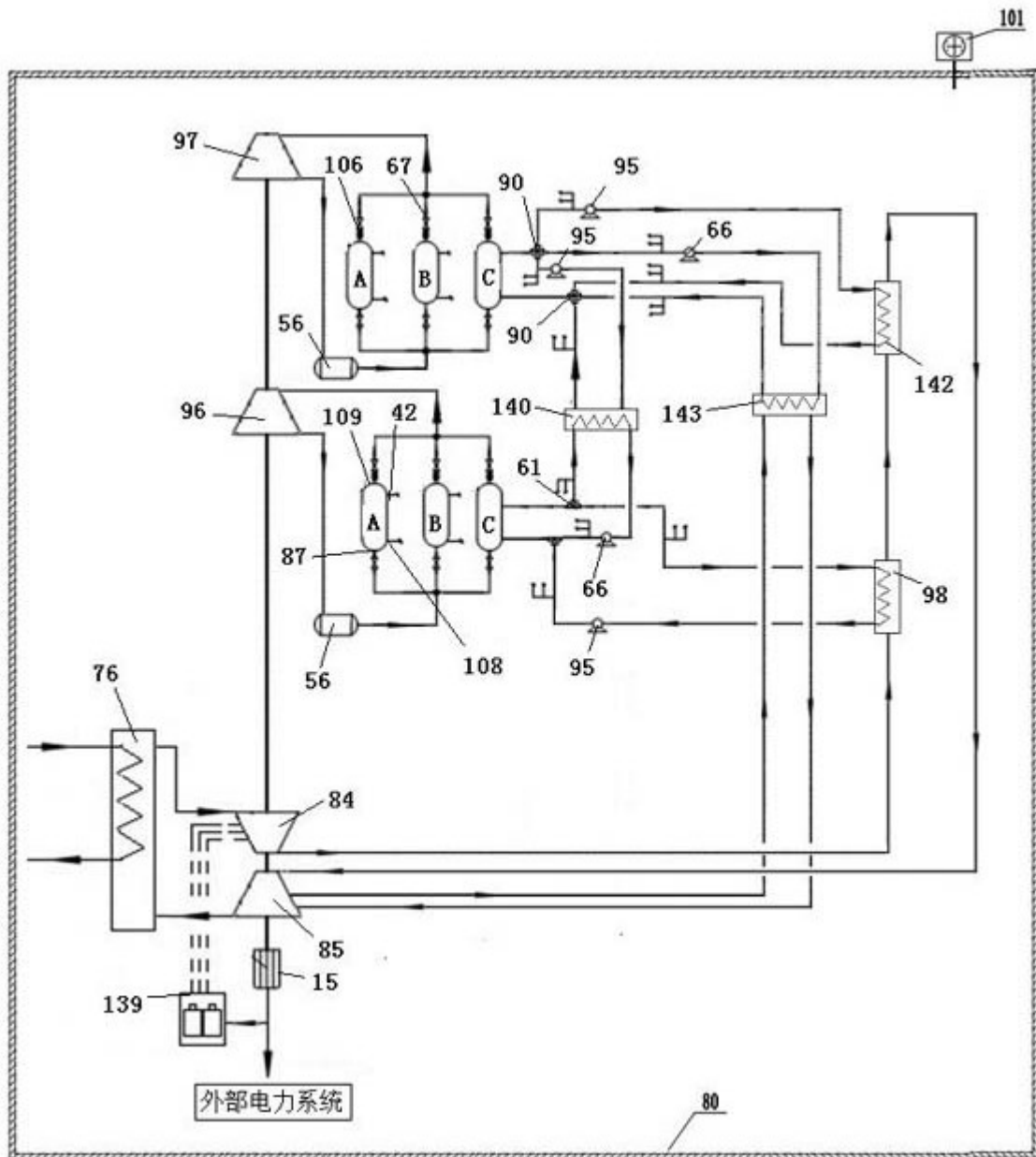


图28