

1. 一种联合热力循环系统,包括:发动机、甲醇燃料箱(1)、甲醇泵(2)、甲醇流量调节阀(3)、甲醇裂解器(4)、散热器(8)、气液分离器(9)、单向阀(10)、储气罐(11)、气体压力传感器(12)、气体流量调节阀(13),其特征在于:

液态甲醇从甲醇燃料箱(1)流出,经甲醇泵(2)加压到一定的工作压力,然后经甲醇流量调节阀(3)进入甲醇催化裂解器(4);

发动机(7)的排气总管与甲醇催化裂解器(4)串联,作为甲醇催化裂解的热源;液态甲醇在甲醇催化裂解器(4)中催化裂解产生甲醇裂解气以及少量未裂解的甲醇蒸汽;

甲醇裂解气以及未裂解的甲醇蒸汽进入发动机的膨胀缸(5),推动活塞做功;做功完毕后的甲醇裂解气和甲醇蒸汽进入散热器(8)进行冷却,使剩余的甲醇蒸汽液化;

甲醇裂解气和液态甲醇进入气液分离器(9)进行分离,分离出的甲醇裂解气通过单向阀(10)进入储气罐(11)中储存,分离出的液态甲醇回流至甲醇燃料箱(1)进行循环利用;

储气罐(11)中的甲醇裂解气经甲醇裂解气流量调节阀(13)进行流量调节后与空气混合进入发动机(7)中的第一燃烧缸(6-1)、第二燃烧缸(6-2)和第三燃烧缸(6-3)参与燃烧做功过程。

2. 根据权利要求1所述的一种联合热力循环系统,其特征在于:发动机膨胀缸(5)并不参与燃烧,只进行膨胀、排气两个过程;而其余气缸,即第一燃烧缸(6-1)、第二燃烧缸(6-2)和第三燃烧缸(6-3)进行正常燃烧做功过程;膨胀缸(5)通过回收高温高压甲醇裂解气的压力能进行膨胀做功。

3. 根据权利要求1所述的一种联合热力循环系统,其特征在于:还包括发动机ECU(15)、底循环ECU(14),其中:甲醇流量调节阀(3)、甲醇裂解气流量调节阀(13)以及甲醇泵(2)都是由底循环ECU(14)控制,而且储气罐(11)也由底循环ECU(14)进行监控;

底循环ECU(14)能够读取发动机ECU(15)的信号,根据内燃机的不同运行工况,实时调整甲醇流量、甲醇裂解气流量和甲醇泵(2)的工作压力,使热力循环系统与内燃机工况相适应;

底循环ECU(14)同时通过压力传感器(12)对储气罐(11)的压力进行实时监控,根据储气罐(11)中压力值对甲醇流量和甲醇泵(2)的工作压力进行调节,使储气罐(11)中的气体压力保持稳定。

4. 根据权利要求1所述的一种联合热力循环系统,其特征在于:甲醇裂解气进入发动机的第一燃烧缸(6-1)、第二燃烧缸(6-2)和第三燃烧缸(6-3)直接参与燃烧,其中,甲醇裂解气能够喷入进气道与空气混合后参与燃烧,或者甲醇裂解气直接喷入发动机燃烧缸进行燃烧。

5. 根据权利要求1所述的一种联合热力循环系统的控制方法,其特征在于:

发动机处于任何运行状态时,当底循环ECU检测到储气罐压力值为其设计最大值的80%时,底循环ECU控制甲醇泵关闭,不再进行甲醇燃料裂解,同时,底循环ECU根据发动机ECU传来的进气流量信号,对此时所需裂解气的量进行计算,对气体流量阀开启开度进行控制,裂解气进入燃烧缸内燃烧;

当底循环ECU检测到储气罐压力值未达到其设计最大值的80%时,若底循环ECU读取到的发动机ECU检测到的排气温度大于等于300℃,则底循环ECU控制甲醇泵和甲醇流量调节阀开启,底循环系统开始正常工作,若底循环ECU读取到的发动机ECU的排气温度小于300

℃,则底循环ECU控制甲醇泵关闭,底循环系统不工作。

6.根据权利要求5所述的一种联合热力循环系统的控制方法,其特征在于:

当发动机ECU检测到发动机处于启动状态时,此时底循环ECU控制甲醇泵关闭,甲醇燃料不进入甲醇裂解器中裂解,底循环系统不工作;

此时如果储气罐存有裂解气,则底循环ECU控制气体流量调节阀开启,底循环ECU根据发动机ECU传来的进气流量信号,对此时所需裂解气的量进行计算,对气体流量阀开度进行控制。

7.根据权利要求5所述的一种联合热力循环系统的控制方法,其特征在于:

当发动机ECU检测到发动机处于怠速状态时,此时底循环ECU控制甲醇泵关闭,甲醇燃料不进入甲醇裂解器中裂解,底循环系统不工作;同时,为保证怠速下发动机缸内燃烧稳定,此时底循环ECU控制气体流量调节阀关闭,裂解气不进入燃烧缸内燃烧。

8.根据权利要求5所述的一种联合热力循环系统的控制方法,其特征在于:

当发动机ECU检测到发动机处于正常运转状态时,由底循环ECU读取发动机ECU检测到的排气温度信号进行如下判断并做相应控制:

a.当排气温度低于300℃时,此时底循环ECU控制甲醇泵关闭,甲醇燃料不进入甲醇裂解器中裂解,底循环系统不工作;

b.当排气温度大于等于300℃时,则底循环ECU控制甲醇泵和甲醇流量调节阀开启,底循环ECU根据发动机ECU传来的动力输出信号,来计算所需裂解气的压力值和流量值。

9.根据权利要求5所述的一种联合热力循环系统的控制方法,其特征在于:

当发动机ECU检测到发动机处于急加速状态时,由于排气温度会有延迟,此时底循环ECU读取到发动机ECU传来的动力输出信号会有一个跃升,若扭矩的增大幅度超过一设定值时,此时底循环ECU不再同时根据排气温度信号和扭矩信号来进行判断,而是直接根据发动机扭矩增大信号快速增大甲醇泵的工作压力、甲醇流量阀的开度以及气体流量阀的开度。

10.根据权利要求5所述的一种联合热力循环系统的控制方法,其特征在于:

当发动机ECU检测到发动机处于急减速状态时,由于排气温度的延迟性,此时底循环ECU读取到发动机ECU传来的动力输出信号会有一个骤减,若扭矩的减大幅度超过一设定值时,为使发动机膨胀缸输出功率能够及时减小而与其他三缸匹配,此时底循环ECU不再同时根据排气温度信号和扭矩信号来进行判断,而是直接根据发动机扭矩较小信号来相应的快速较小甲醇泵的工作压力、甲醇流量阀的开度以及气体流量阀的开度。

一种联合热力循环系统

技术领域

[0001] 本发明属于余热回收技术领域,尤其涉及一种联合热力循环系统。

背景技术

[0002] 能源危机已成为制约我国经济发展和国家安全的首要问题。内燃机节能是国家节能工作的主战场之一,通过提高内燃机热效率来改善我国能源利用效率,意义极为重大。内燃机大约只有30%-40%的燃油能量转化为有效功,剩余的大部分燃油能量通过冷却水和排气散失掉了,如何回收利用这股散失的能量成了近年来国内外的研究热点。开展内燃机余热高效回收利用,在内燃机上实现复合热力循环将是国际内燃机新的发展趋势,凸显了巨大的节能潜力。

[0003] 近几年对内燃机底循环的研究开始兴起,内燃机底循环是相对于内燃机缸内热力循环(奥托循环或迪塞尔循环)而言的,是附加在内燃机系统上,用于回收利用内燃机余热的一种热力循环系统。在2012年5月31日,湖南大学的刘敬平等在《Applied Thermal Engineering》发表的论文《Comparison and analysis of engine exhaust gas energy recovery potential through various bottom cycles》公开了多种底循环的比较分析方法,在2013年5月25日,湖南大学的付建勤等在《内燃机学报》发表的论文《回热布雷顿空气循环回收内燃机废气余热的模拟》公开了一种底循环的模拟方法;在2014年6月1日,天津大学的李晓宁在其博士论文《柴油机余热回收底循环系统及排气换热器设计与性能优化》中公开了一种柴油机余热回收的底循环系统优化方法。目前国际上出现了多种内燃机余热回收的技术途径,包括排气余热驱动朗肯循环(输出有效功或发电)、改善内燃机进气性能(涡轮增压)、排气直接驱动动力涡轮(输出膨胀功或发电)、温差发电、驱动制冷循环、改良燃料等多种形式。但是,这些余热回收技术手段都比较单一,只能对内燃机的余热进行单级回收,余热能量利用率不高。

[0004] 此外,甲醇突出的中温(200℃-450℃)裂解性能、具有高热值的甲醇裂解气和甲醇燃料的经济性,使得甲醇裂解在内燃机余热回收上的应用得到了广泛研究。传统的利用方式是将甲醇裂解气直接作为燃料燃烧,其主要的改进方式是在催化剂选择和裂解器结构设计方面,而将裂解器作为整个热力循环系统的一部分其改进方式却很少被研究。从热力循环系统的角度考虑,经过裂解器催化裂解产生的甲醇裂解气本身是高温高压气体,不仅具有可观的压力能和动能,而且气体中还含有一定量未裂解的甲醇蒸汽。因此,如果能回收高温高压裂解气体的压力能、动能以及未裂解的甲醇,将进一步提高整个热力循环系统的能量利用率。

发明内容

[0005] 本发明的目的是针对目前内燃机只有30%-40%的燃油能量转化为有效功,剩余的大部分燃油能量通过冷却水和排气散失掉这一现状,提出了一种“余热回收—燃料裂解—膨胀做功—改性燃烧”的新型联合热力循环系统,高效回收利用内燃机的废气余热能,

利用内燃机的废气余热对甲醇进行裂解,把裂解产生的高温高压气体引入内燃机的一个气缸进行膨胀做功,并把膨胀做功后的裂解气喷入内燃机进行燃烧,在保持内燃机现有功率不变情况下,达到改良燃料、减少燃料消耗,高效梯级利用内燃机余热的目的。

[0006] 本发明的技术方案是提供了一种联合热力循环系统,包括:发动机、甲醇燃料箱、甲醇泵、甲醇流量调节阀、甲醇裂解器、散热器、气液分离器、单向阀、储气罐、气体压力传感器、气体流量调节阀,其特征在于:

[0007] 液态甲醇从甲醇燃料箱流出,经甲醇泵加压到一定的工作压力,然后经甲醇流量调节阀进入甲醇催化裂解器;

[0008] 发动机的排气总管与甲醇催化裂解器串联,作为甲醇催化裂解的热源;液态甲醇在甲醇催化裂解器中催化裂解产生甲醇裂解气以及少量未裂解的甲醇蒸汽;

[0009] 甲醇裂解气以及未裂解的甲醇蒸汽进入发动机的膨胀缸,推动活塞做功;做功完毕后的甲醇裂解气和甲醇蒸汽进入散热器进行冷却,使剩余的甲醇蒸汽液化;

[0010] 甲醇裂解气和液态甲醇进入气液分离器进行分离,分离出的甲醇裂解气通过单向阀进入储气罐中储存,分离出的液态甲醇回流至甲醇燃料箱进行循环利用;

[0011] 储气罐中的甲醇裂解气经甲醇裂解气流量调节阀进行流量调节后与空气混合进入发动机中的燃烧缸参与燃烧做功过程。

[0012] 本发明的有益效果主要表现在以下几个方面:

[0013] 1)液态甲醇的压缩性很低,只需消耗很小的压缩功就可以将液态甲醇压力提升到所需水平;

[0014] 2)系统采用电子控制系统实现液态甲醇与裂解气的精确计量与喷射,可以在内燃机变工况运行时对甲醇流量和裂解气流量进行实时精准控制,确保甲醇裂解反应器内的工质充分吸热裂解以及内燃机的工况运行平稳。

[0015] 3)本发明的新型联合热力循环的优选实例中,四缸发动机只有三个气缸进行燃烧,还有一个气缸并不参与燃烧,它作为膨胀缸回收高温高压裂解气的压力能与动能。发动机的动力来源除了发动机原燃料的燃烧外,还包括由甲醇裂解反应器出口端的高温高压裂解气所做的膨胀功以及气液分离器的气体出口端裂解气的燃烧,与传统内燃机余热回收热力系统有很大不同。

[0016] 4)甲醇工质完成了一个热源为内燃机排气余热的蒸汽动力底循环后,裂解的气体参与发动机的燃烧,未裂解的甲醇可以通过气液分离器回收循环利用。本新型联合热力循环将四缸发动机的一个气缸用来回收高温高压裂解气的膨胀功,相比原发动机,使用新的联合热力循环的发动机不仅可以输出相同的功率,而且还可以减少燃料量消耗、降低排放,最终达到节能减排的目的。

[0017] 5)甲醇裂解后的气体其热值较液态甲醇得到了很大提高,甲醇燃料的理化性能得到改良。甲醇裂解气是富氢气体,燃烧速度快,使缸内热力循环的等容性增加,热效率升高。

[0018] 6)通过ECU对甲醇流量调节阀和气体流量调节阀的实时精确控制,可以确保甲醇裂解率在内燃机不同运行工况下达到最佳值,同时保证内燃机工况的运行平稳,使整个联合热力循环的性能达到最优。

附图说明

[0019] 图1为本发明的一种联合热力循环系统系统原理结构图；

[0020] 其中：1-甲醇燃料箱，2-甲醇泵，3-甲醇流量调节阀，4-甲醇裂解器，5-膨胀缸，6-第一燃烧缸、6-2第二燃烧缸、6-3-第三燃烧缸，7-发动机，8-散热器，9-气液分离器，10-单向阀，11-储气罐，12-气体压力传感器，13-气体流量调节阀，14-底循环ECU，15-发动机ECU；

具体实施方式

[0021] 下面结合附图对本发明的原理和系统做进一步的详细说明。需要说明的是本实施方式是叙述性的，而非限定性的，不以此限定本发明的保护范围。

[0022] 如图1所示，本发明的提供了一种包括“余热回收—燃料裂解—膨胀做功—改性燃烧”过程的联合热力循环系统，包括发动机做功的主循环和甲醇裂解、膨胀、回流的底循环，整个联合热力循环系统包括：发动机7、甲醇燃料箱1、甲醇泵2、甲醇流量调节阀3、甲醇裂解器4、散热器8、气液分离器9、单向阀10、储气罐、气体压力传感器12、气体流量调节阀13、发动机ECU15、底循环ECU14；

[0023] 一种“余热回收—燃料裂解—膨胀做功—改性燃烧”的新型联合热力循环系统，主循环是发动机的工作过程，其产生的高温废气为底循环提供热源，底循环是甲醇催化裂解后，裂解气膨胀做功并参与发动机燃烧做功的过程。同时需要特别说明的是，该联合热力循环系统中，裂解燃料不限于甲醇，还可以为乙醇、丙醇、丁醇和生物柴油中的一种。

[0024] 图1中实线表示发动机工作循环，长虚线表示底循环，点画线表示ECU控制线路。

[0025] 联合热力循环的详细工作过程为：甲醇燃料箱1的出口端与甲醇泵2串联，燃料箱中的甲醇通过甲醇泵2泵出，甲醇经甲醇流量调节阀3后进入甲醇催化裂解器4；发动机7的排气总管与甲醇催化裂解器4串联，发动机7排气总管的高温废气对甲醇催化裂解器4的甲醇进行加热后排出，甲醇在甲醇催化裂解器4中发生催化裂解反应产生高温高压的催化裂解气以及一部分未裂解的甲醇蒸汽；把产生的高温高压裂解气和甲醇蒸汽引入发动机的一个气缸，为区分正常燃烧的气缸，下面称膨胀缸5，高温高压的气体在膨胀缸5中推动活塞进行做功；

[0026] 做功完毕后，温度和压力都降低的气体进入散热器8中进一步进行冷却，使其中未裂解的甲醇气体液化，裂解气和液态甲醇进入气液分离器9进行分离，分离出的裂解气通过单向阀10进入储气罐11中储存，分离出的液态甲醇回流至甲醇燃料箱1中循环利用；

[0027] 储气罐11中的裂解气经裂解气流量调节阀13进行流量调节后与空气混合进入发动机7中正常燃烧的气缸，裂解气分别进入第一燃烧缸6-1、第二燃烧缸6-2、第三燃烧缸6-3参与燃烧做功。需要指出的是，可以通过合理优化进排气相位，使发动机膨胀缸的输出既定功率。

[0028] 需要详细说明的是，发动机电子控制单元(发动机ECU)15和底循环电子控制单元(底循环ECU)14共同实现对联合热力循环系统的精确监测和实时控制。底循环ECU14与发动机ECU15相连接，底循环ECU14通过读取发动机ECU15的信号来获得发动机运行工况的信息，根据发动机ECU15反馈的信息来对甲醇流量调节阀3、气体流量调节阀13以及甲醇泵2进行控制。底循环ECU14根据工况需求确定喷入甲醇裂解器中的甲醇流量，实时调节甲醇流量调节阀3和气体流量调节阀13的开度以及甲醇泵2的工作压力，使甲醇裂解率达到最优，同时使裂解气的压力足以保证发动机膨胀缸输出既定功率，且使整个发动机整机运行平稳；采

用气体压力传感器12实时监测储气罐11的压力,若压力过低,将信号反馈给底循环ECU14,底循环ECU14发出信号调大甲醇流量调节阀3的开度,增大甲醇流量,产生更多的裂解气补偿储气罐11中的气体;反之,若压力超过某个限值,底循环ECU14发出信号调小甲醇流量调节阀3的开度,减小甲醇流量,减少裂解气的生成,防止储气箱出现压力过大的情况,这样可以使储气罐11中的气体压力时刻维持在一个合理的范围。

[0029] 为了使联合热力循环可以根据内燃机的不同运行工况,实时调整甲醇流量、裂解气流量和泵的工作压力,使热力循环系统与内燃机工况相适应,使整个系统的性能达到最优,本发明为该热力循环设计了一种联合热力循环系统的控制方法:

[0030] 1)发动机处于任何运行状态时,当底循环ECU检测到储气罐压力值为其设计最大值的80%时,底循环ECU控制甲醇泵关闭,不再进行甲醇燃料裂解,同时,底循环ECU根据发动机ECU传来的进气流量信号,来对此时所需裂解气的量进行计算,对气体流量阀开启开度进行控制,裂解气进入燃烧缸内燃烧;当底循环ECU检测到储气罐压力值未达到其设计最大值的80%时,若底循环ECU读取到的发动机ECU的排气温度大于等于300℃,则底循环ECU控制甲醇泵和甲醇流量调节阀开启,底循环系统开始正常工作,若底循环ECU读取到的发动机ECU的排气温度小于300℃,则底循环ECU控制甲醇泵关闭,底循环系统不工作。

[0031] 2)当发动机ECU检测到发动机处于启动状态时,此时底循环ECU控制甲醇泵关闭,甲醇燃料不进入甲醇裂解器中裂解,底循环系统不工作;此时如果储气罐如果存有裂解气,则底循环ECU控制气体流量调节阀开启,底循环ECU根据发动机ECU传来的进气流量信号,来对此时所需裂解气的量进行计算,对气体流量阀开度进行控制,此时气体流量阀开启开度控制为一个较低的值。

[0032] 3)当发动机ECU检测到发动机处于怠速状态时,由于怠速需要输出功率极小,为节约甲醇燃料,此时底循环ECU控制甲醇泵关闭,甲醇燃料不进入甲醇裂解器中裂解,底循环系统不工作;同时,为保证怠速下发动机缸内燃烧稳定,此时底循环ECU控制气体流量调节阀关闭,裂解气不进入燃烧缸内燃烧。

[0033] 4)当发动机ECU检测到发动机处于正常运转状态时,由底循环ECU读取发动机ECU的排气温度信号进行如下判断并做相应控制:a.当排气温度低于300℃时,此时底循环ECU控制甲醇泵关闭,甲醇燃料不进入甲醇裂解器中裂解,底循环系统不工作。b.当排气温度大于等于300℃时,则底循环ECU控制甲醇泵和甲醇流量调节阀开启,底循环ECU根据发动机ECU传来的动力输出信号,即根据发动机此时扭矩大小,来计算所需裂解气的压力值和流量值,根据排气温度与甲醇裂解率的数值对应关系(此数值关系已事先写入底循环ECU)可以得到所需液态甲醇的流量值,进而可以根据这数值关系对甲醇流量调节阀的开度进行控制,以及对甲醇泵的工作压力进行控制;同时,底循环ECU根据发动机ECU传来的进气流量信号得到发动机此时进气流量值,根据进气量与对应所需裂解气量的数值关系(此数值关系已事先写入底循环ECU)来对气体流量调节阀的开度进行控制。

[0034] 5)当发动机ECU检测到发动机处于急加速状态时,由于排气温度会有延迟,,此时底循环ECU读取到发动机ECU传来的动力输出信号会有一个跃升,若扭矩的增大幅度超过一设定值时(此值根据发动机额定扭矩不同而不同),为使发动机动力性得到保证,此时底循环ECU不再同时根据排气温度信号和扭矩信号来进行判断,而是直接根据发动机扭矩增大信号来相应的快速增大甲醇泵的工作压力、甲醇流量阀的开度以及气体流量阀的开度,以

保证加速响应。

[0035] 6)当发动机ECU检测到发动机处于急减速状态时,由于排气温度的延迟性,此时底循环ECU读取到发动机ECU传来的动力输出信号会有一个骤减,若扭矩的减小幅度超过一设定值时(此值根据发动机额定扭矩不同而不同),为使发动机膨胀缸输出功率能够及时减小而与其他三缸匹配,此时底循环ECU不再同时根据排气温度信号和扭矩信号来进行判断,而是直接根据发动机扭矩较小信号来相应的快速较小甲醇泵的工作压力、甲醇流量阀的开度以及气体流量阀的开度,以保证发动机运行平稳。

[0036] 7)当发动机ECU检测到发动机处于熄火状态时,此时底循环ECU控制甲醇泵关闭,甲醇燃料不进入甲醇裂解器中裂解,底循环系统不工作;同时,底循环ECU控制气体流量调节阀关闭,裂解气不再进入燃烧缸内。

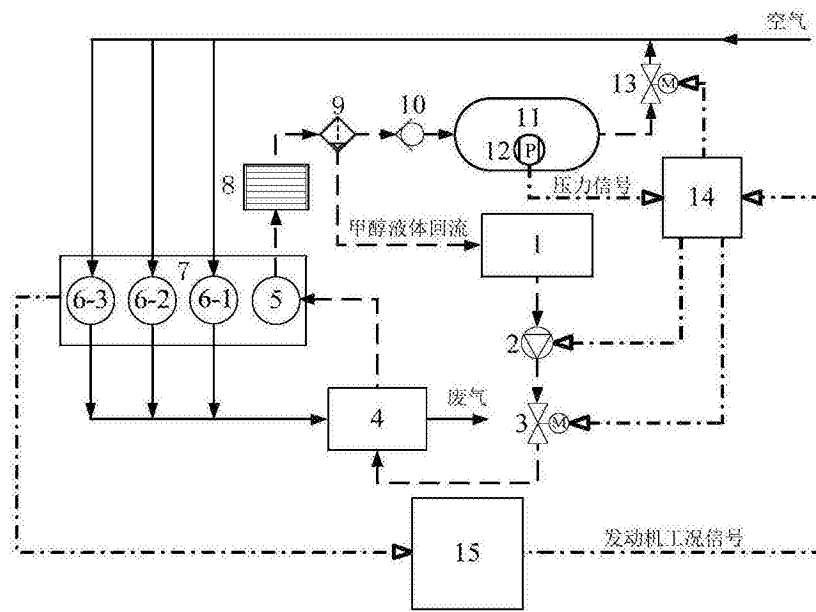


图1