(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 112761780 B
(45)授权公告日 2022.07.22

(21)申请号 201911001103.9

(22)申请日 2019.10.21

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112761780 A

(43)申请公布日 2021.05.07

(73)专利权人 联合汽车电子有限公司
地址 201206 上海市浦东新区榕桥路555号

(72)发明人 苏建业 胡勃 尹兆雷 习纲
陈宇清 丁锋 王庆华

(74)专利代理机构 上海思微知识产权代理事务所(普通合伙) 31237
专利代理师 曹廷廷

(51)Int.Cl.
F02B 43/10(2006.01)
F02M 21/02(2006.01)
F02F 1/24(2006.01)
F02D 41/40(2006.01)
F02P 5/15(2006.01)
F01L 1/26(2006.01)
F02D 13/02(2006.01)

(56)对比文件
US 2009012698 A1,2009.01.08
US 5577473 A,1996.11.26
US 2007175438 A1,2007.08.02
CN 101368527 A,2009.02.18
US 4086878 A,1978.05.02

审查员 张博

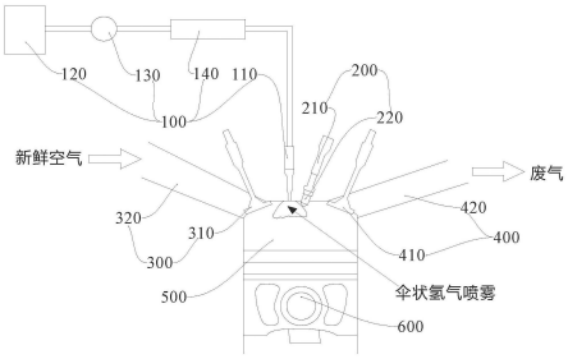
权利要求书2页 说明书10页 附图4页

(54)发明名称

一种稀薄燃烧系统、方法和发动机

(57)摘要

本发明提供了一种稀薄燃烧系统、方法和发动机，该稀薄燃烧系统包括高压喷射单元、点火单元、进气单元、排气单元、燃烧室和活塞；活塞能够在燃烧室内往复运动；高压喷射单元、点火单元、进气单元和排气单元均设于燃烧室的顶部；高压喷射单元包括高压氢气喷射器，高压氢气喷射器为伞状喷雾喷油器，高压氢气喷射器用于向燃烧室直接喷射伞状氢气喷雾；进气单元包括相连的进气门和进气道；排气单元包括相连的排气门和排气道；点火单元用于使燃烧室内的燃料燃烧。该稀薄发动机包括至少一个上文所述的稀薄燃烧系统，该稀薄燃烧方法应用于上文所述的发动机。本发明可以实现NOx的低排放甚至零排放，并提高热效率。



CN 112761780 B

1.一种稀薄燃烧系统，其特征在于，包括高压喷射单元、点火单元、进气单元、排气单元、燃烧室和活塞；

所述活塞能够在所述燃烧室内往复运动；

所述高压喷射单元、所述点火单元、所述进气单元和所述排气单元均设于所述燃烧室的顶部；

所述高压喷射单元包括高压氢气喷射器，所述高压氢气喷射器为伞状喷雾喷油器，所述高压氢气喷射器用于向所述燃烧室直接喷射伞状氢气喷雾；

所述进气单元包括相连的进气门和进气道，所述燃烧室通过所述进气单元与外界大气相连通；

所述排气单元包括相连的排气门和排气道，所述燃烧室通过所述排气单元与外界大气相连通；

所述点火单元用于使所述燃烧室内的燃料燃烧；

所述高压氢气喷射器被配置为：

在低负荷工况下，针对一个工作循环，在进气冲程开始一段时间之后，开始向所述燃烧室直接喷射伞状氢气喷雾；

在中负荷工况下，针对一个工作循环，在进气冲程末期，开始向所述燃烧室直接喷射伞状氢气喷雾；

在高负荷工况下，针对一个工作循环，在进气门关闭之后，向所述燃烧室至少进行两次伞状氢气喷雾的喷射，通过所述点火单元进行两次点火，其中第一次伞状氢气喷雾的喷射发生在第一次点火开始之前，最后一次伞状氢气喷雾的喷射发生在第一次点火之后至第二次点火之前的时间段内或第二次点火期间，第一次点火开始时刻距最后一次伞状氢气喷雾的喷射开始时刻的时间间隔为0～20度曲轴转角，最后一次伞状氢气喷雾的喷射开始时刻距第二次点火开始时刻的时间间隔为0～20度曲轴转角。

2.根据权利要求1所述的稀薄燃烧系统，其特征在于，所述进气单元还包括进气门升程机构，所述进气门升程机构用于连续改变进气门的开启时刻，所述排气单元还包括排气门升程机构，所述排气门升程机构用于连续改变排气门的开启时刻。

3.根据权利要求1所述的稀薄燃烧系统，其特征在于，所述点火单元包括相连的点火线圈和火花塞。

4.根据权利要求3所述的稀薄燃烧系统，其特征在于，所述高压氢气喷射器喷射的伞状氢气喷雾导向靠近所述火花塞的位置。

5.根据权利要求1所述的稀薄燃烧系统，其特征在于，所述高压氢气喷射器和所述点火单元均位于所述进气单元和所述排气单元之间，所述点火单元靠近所述排气单元所在位置。

6.根据权利要求1所述的稀薄燃烧系统，其特征在于，所述高压喷射单元还包括依次相连的高压氢气储存装置、压力控制阀和高压氢轨，所述高压氢轨的出气口与所述高压氢气喷射器的进气口相连。

7.根据权利要求1所述的稀薄燃烧系统，其特征在于，所述高压氢气喷射器的喷射压力不低于30bar。

8.根据权利要求1所述的稀薄燃烧系统，其特征在于，所述高压氢气喷射器为外开环喷

油器或旋涡型喷油器。

9.根据权利要求1所述的稀薄燃烧系统，其特征在于，所述活塞为高压缩比活塞。

10.根据权利要求1所述的稀薄燃烧系统，其特征在于，所述进气单元位于所述燃烧室顶部的一侧，所述排气单元位于所述燃烧室顶部的另一侧，所述高压氢气喷射器靠近所述燃烧室顶部的中间位置处。

11.一种稀薄燃烧发动机，其特征在于，包括至少一个如权利要求1至10中任一项所述的稀薄燃烧系统。

12.一种稀薄燃烧方法，其特征在于，应用于如权利要求11所述的稀薄燃烧发动机，所述稀薄燃烧方法包括：

在低负荷工况下，针对一个工作循环，在进气冲程开始一段时间之后，开始通过所述高压氢气喷射器向所述燃烧室直接喷射伞状氢气喷雾；

在中负荷工况下，针对一个工作循环，在进气冲程末期，开始通过所述高压氢气喷射器向所述燃烧室直接喷射伞状氢气喷雾；

在高负荷工况下，针对一个工作循环，在进气门关闭之后，通过所述高压氢气喷射器向所述燃烧室至少进行两次伞状氢气喷雾的喷射，通过所述点火单元进行两次点火，其中第一次伞状氢气喷雾的喷射发生在第一次点火开始之前，最后一次伞状氢气喷雾的喷射发生在第一次点火之后至第二次点火之前的时间段内或第二次点火期间，第一次点火开始时刻距最后一次伞状氢气喷雾的喷射开始时刻的时间间隔为0～20度曲轴转角，最后一次伞状氢气喷雾的喷射开始时刻距第二次点火开始时刻的时间间隔为0～20度曲轴转角。

一种稀薄燃烧系统、方法和发动机

技术领域

[0001] 本发明涉及发动机技术领域，特别涉及一种稀薄燃烧系统、方法和发动机。

背景技术

[0002] 开发替代燃料在传统内燃机中的应用是实现减排、节能和促进能源安全的重要方向之一。氢气由于其无碳、宽点火范围、高辛烷值和热值而成为内燃机的理想燃料。其中，无碳的特点实现了CO、HC和颗粒物(PN/PM)的零排放。宽点火范围、高辛烷值和热值利于实现超稀薄燃烧和高几何压缩比，从而达到高效的目的。

[0003] 目前火花点燃式氢气内燃机主要包括氢气进气道喷射和缸内直喷两种方式。相比氢气进气道喷射，缸内直喷的优势明显，包括避免了回火和早燃等非正常燃烧，以及升功率高等。但氢气缸内直喷面临的主要技术瓶颈包括：

[0004] 1)高负荷NOx排放高。氢气内燃机降低NOx的关键途径是在燃烧室内每一个局部都形成均匀的稀薄混合气。而目前的氢气喷嘴主要采用多孔喷油器，因此，不利于氢气和空气的均匀混合，从而造成高负荷下原始NOx排放高。

[0005] 2)热效率偏低。由于氢气的淬熄距离较短(约为天然气和汽油的1/4)，因此，氢气内燃机的传热损失较大，从而限制了热效率的提升。

发明内容

[0006] 本发明的目的在于提供一种稀薄燃烧系统、方法和发动机，在实现NOx近零排放的同时，提高发动机热效率。

[0007] 达到上述目的，本发明提供一种稀薄燃烧系统，包括高压喷射单元、点火单元、进气单元、排气单元、燃烧室和活塞；

[0008] 所述活塞能够在所述燃烧室内往复运动；

[0009] 所述高压喷射单元、所述点火单元、所述进气单元和所述排气单元均设于所述燃烧室的顶部；

[0010] 所述高压喷射单元包括高压氢气喷射器，所述高压氢气喷射器为伞状喷雾喷油器，所述高压氢气喷射器用于向所述燃烧室直接喷射伞状氢气喷雾；

[0011] 所述进气单元包括相连的进气门和进气道，所述燃烧室通过所述进气单元与外界大气相连通；

[0012] 所述排气单元包括相连的排气门和排气道，所述燃烧室通过所述排气单元与外界大气相连通；

[0013] 所述点火单元用于使所述燃烧室内的燃料燃烧。

[0014] 可选的，所述进气单元还包括进气门升程机构，所述进气门升程机构用于连续改变进气门的开启时刻，所述排气单元还包括排气门升程机构，所述排气门升程机构用于连续改变排气门的开启时刻。

[0015] 可选的，所述点火单元包括相连的点火线圈和火花塞。

[0016] 可选的，所述高压氢气喷射器喷射的伞状氢气喷雾导向靠近所述火花塞的位置。

[0017] 可选的，所述高压氢气喷射器和所述点火单元均位于所述进气单元和所述排气单元之间，所述点火单元靠近所述排气单元所在位置。

[0018] 可选的，所述高压喷射单元还包括依次相连的高压氢气储存装置、压力控制阀和高压氢轨，所述高压氢轨的出气口与所述高压氢气喷射器的进气口相连。

[0019] 可选的，所述高压氢气喷射器的喷射压力不低于30bar。

[0020] 可选的，所述高压氢气喷射器为外开环喷油器或旋涡型喷油器。

[0021] 可选的，所述活塞为高压缩比活塞。

[0022] 可选的，所述进气单元位于所述燃烧室顶部的一侧，所述排气单元位于所述燃烧室顶部的另一侧，所述高压氢气喷射器靠近所述燃烧室顶部的中间位置处。

[0023] 为达到上述目的，本发明还提供一种稀薄燃烧发动机，所稀薄燃烧述发动机包括至少一个上文所述的稀薄燃烧系统。

[0024] 为达到上述目的，本发明还提供一种稀薄燃烧方法，所述稀薄燃烧方法包括：

[0025] 在低负荷工况下，针对一个工作循环，在进气冲程开始一段时间之后，开始通过所述高压氢气喷射器向所述燃烧室直接喷射伞状氢气喷雾；

[0026] 在中负荷工况下，针对一个工作循环，在进气冲程末期，开始通过所述高压氢气喷射器向所述燃烧室直接喷射伞状氢气喷雾；

[0027] 在高负荷工况下，针对一个工作循环，在进气门关闭之后，通过所述高压氢气喷射器向所述燃烧室至少进行两次伞状氢气喷雾的喷射，通过所述点火单元进行一次点火，其中第一次伞状氢气喷雾的喷射发生在点火之前，最后一次伞状氢气喷雾的喷射发生在点火之后。

[0028] 可选的，在高负荷工况下，针对一个工作循环，在进气门关闭之后，通过所述高压氢气喷射器向所述燃烧室至少进行两次伞状氢气喷雾的喷射，通过所述点火单元进行两次点火，其中第一次伞状氢气喷雾的喷射发生在第一次点火开始之前，最后一次伞状氢气喷雾的喷射发生在第一次点火之后至第二次点火之前的时间段内或第二次点火期间。

[0029] 可选的，在高负荷工况下，点火开始时刻距最后一次伞状氢气喷雾的喷射开始时刻的时间间隔为0～20度曲轴转角。

[0030] 可选的，在高负荷工况下，第一次点火开始时刻距最后一次伞状氢气喷雾的喷射开始时刻的时间间隔为0～20度曲轴转角，最后一次伞状氢气喷雾的喷射开始时刻距第二次点火开始时刻的时间间隔为0～20度曲轴转角。

[0031] 与现有技术相比，本发明提供的稀薄燃烧系统、方法和发动机具有以下优点：

[0032] (1)本发明提供的稀薄燃烧系统，包括高压喷射单元、点火单元、进气单元、排气单元、燃烧室和活塞；所述活塞能够在所述燃烧室内往复运动；所述高压喷射单元、所述点火单元、所述进气单元和所述排气单元均设于所述燃烧室的顶部；所述高压喷射单元包括高压氢气喷射器，所述高压氢气喷射器为伞状喷雾喷油器，所述高压氢气喷射器用于向所述燃烧室直接喷射伞状氢气喷雾；所述进气单元包括相连的进气门和进气道，所述燃烧室通过所述进气单元与外界大气相连通；所述排气单元包括相连的排气门和排气道，所述燃烧室通过所述排气单元与外界大气相连通；所述点火单元用于使所述燃烧室内的燃料燃烧。由此，通过所述进气单元可以向所述燃烧室内输入新鲜空气，通过所述高压氢气喷射器可

以向所述燃烧室内输入高压伞状氢气喷雾，从而可以在所述燃烧室内形成均匀的当量空燃比大于2的稀薄混合气。本发明提供的稀薄燃烧系统通过采用伞状喷雾喷油器作为高压氢气喷射器，相比于常规的缸内直喷氢气的内燃机的多孔(≥2孔)喷射器，可以扩大氢气与空气的接触面积，促进氢气与空气的快速均匀混合，从而可以实现NOx的低排放甚至零排放。

[0033] (2)本发明提供的稀薄燃烧发动机由于包括至少一个上文所述的稀薄燃烧系统，从而具有上文所述稀薄燃烧系统的所有优点，即本发明提供的稀薄燃烧发动机通过采用伞状喷雾喷油器作为高压氢气喷射器，相比于常规的缸内直喷氢气的内燃机的多孔(≥2孔)喷射器，可以扩大氢气与空气的接触面积，促进氢气与空气的快速均匀混合，从而可以实现NOx的低排放甚至零排放。

[0034] (3)本发明提供的稀薄燃烧方法，包括：在低负荷工况下，针对一个工作循环，在进气冲程开始一段时间之后，开始通过所述高压氢气喷射器向所述燃烧室直接喷射伞状氢气喷雾；在中负荷工况下，针对一个工作循环，在进气冲程末期，开始通过所述高压氢气喷射器向所述燃烧室直接喷射伞状氢气喷雾；在高负荷工况下，针对一个工作循环，在进气门关闭之后，通过所述高压氢气喷射器向所述燃烧室至少进行两次伞状氢气喷雾的喷射，通过所述点火单元进行一次点火，其中第一次伞状氢气喷雾的喷射发生在点火之前，最后一次伞状氢气喷雾的喷射发生在点火之后，或者在高负荷工况下，针对一个工作循环，在进气门关闭之后，通过所述高压氢气喷射器向所述燃烧室至少进行两次伞状氢气喷雾的喷射，通过所述点火单元进行两次点火，其中第一次伞状氢气喷雾的喷射发生在第一次点火开始之前，最后一次伞状氢气喷雾的喷射发生在第一次点火之后至第二次点火之前的时间段内或第二次点火期间。由此，本发明提供的稀薄燃烧方法在中、低负荷下采用的氢气喷射策略可以实现当量空燃比大于2的均匀稀薄混合气稳定燃烧，从而达到低甚至零NOx排放的目的；在高负荷下采用的氢气多次喷射策略，可以实现多段放热燃烧，在提升热效率的同时，降低NOx的排放。

附图说明

[0035] 图1为本发明一实施方式中的稀薄燃烧系统的整体结构示意图；

[0036] 图2为本发明一实施方式中的伞状氢气喷雾喷射示意图；

[0037] 图3为本发明一实施方式中的发动机运行工况示意图；

[0038] 图4为本发明一实施方式中的低负荷工况下的进气、高压氢气喷射及点火控制策略示意图；

[0039] 图5为本发明一实施方式中的中负荷工况下的进气、高压氢气喷射及点火控制策略示意图；

[0040] 图6为本发明一实施方式中的高负荷工况下的进气、高压氢气喷射及点火控制策略示意图；

[0041] 图7为本发明另一实施方式中的高负荷工况下的进气、高压氢气喷射及点火控制策略示意图；

[0042] 图8为本发明中的多段放热策略与常规单段放热策略的对比示意图。

[0043] 其中，附图标记如下：

[0044] 高压喷射单元-100；点火单元-200；进气单元-300；排气单元-400；燃烧室-500；活

塞-600;高压氢气喷射器-110;进气门-310;进气道-320;排气门-410;排气道-420;点火线圈-210;火花塞-220;高压氢气储存装置-120;压力控制阀-130;高压氢轨-140。

具体实施方式

[0045] 以下结合附图1至8和具体实施方式对本发明提出的稀薄燃烧系统、方法和发动机作进一步详细说明。根据下面说明,本发明的优点和特征将更清楚。需要说明的是,附图采用非常简化的形式且均使用非精准的比例,仅用以方便、明晰地辅助说明本发明实施方式的目的。为了使本发明的目的、特征和优点能够更加明显易懂,请参阅附图。须知,本说明书所附图式所绘示的结构、比例、大小等,均仅用以配合说明书所揭示的内容,以供熟悉此技术的人士了解与阅读,并非用以限定本发明实施的限定条件,故不具技术上的实质意义,任何结构的修饰、比例关系的改变或大小的调整,在不影响本发明所能产生的功效及所能达成的目的下,均应仍落在本发明所揭示的技术内容能涵盖的范围内。

[0046] 需要说明的是,在本文中,诸如第一和第二等之类的关系术语仅仅用来将一个实体或者操作与另一个实体或操作区分开来,而不一定要求或者暗示这些实体或操作之间存在任何这种实际的关系或者顺序。而且,术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含,从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者设备不仅包括那些要素,而且还包括没有明确列出的其他要素,或者是还包括为这种过程、方法、物品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下,由语句“包括一个……”限定的要素,并不排除在包括所述要素的过程、方法、物品或者设备中还存在另外的相同要素。

[0047] 在本发明的描述中,需要理解的是,术语“中心”、“高度”、“厚度”、“上”、“下”、“竖直”、“水平”、“顶”、“底”、“内”、“外”、“轴向”、“径向”、“周向”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系,仅是为了便于描述本发明和简化描述,而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作,因此不能理解为对本发明的限制。在本发明的描述中,除非另有说明,“多个”的含义是两个或两个以上。

[0048] 在本发明的描述中,除非另有明确的规定和限定,术语“安装”、“相连”、“连接”、“固定”应做广义理解,例如,可以是固定连接,也可以是可拆卸连接,或成一体;可以是机械连接,也可以是电连接;可以是直接相连,也可以通过中间媒介间接相连,可以是两个元件内部的连通或两个元件的相互作用关系。对于本领域的普通技术人员而言,可以具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。

[0049] 在本发明中,除非另有明确的规定和限定,第一特征在第二特征之“上”或之“下”可以包括第一和第二特征直接接触,也可以包括第一和第二特征不是直接接触而是通过它们之间的另外的特征接触。而且,第一特征在第二特征“之上”、“上方”和“上面”包括第一特征在第二特征正上方和斜上方,或仅仅表示第一特征水平高度高于第二特征。第一特征在第二特征“之下”、“下方”和“下面”包括第一特征在第二特征正下方和斜下方,或仅仅表示第一特征水平高度小于第二特征。

[0050] 如背景技术中所介绍的那样,目前火花点燃式氢气内燃机主要包括氢气进气道喷射和缸内直喷两种方式。相比氢气进气道喷射,缸内直喷的优势明显,包括避免了回火和早燃等非正常燃烧,以及升功率高等。但氢气缸内直喷面临的主要技术瓶颈包括:

[0051] 1)高负荷NOx排放高。氢气内燃机降低NOx的关键途径是在燃烧室内每一个局部都

形成均匀的稀薄混合气。而目前的氢气喷嘴主要采用多孔喷油器，因此，不利于氢气和空气的均匀混合，从而造成高负荷下原始NOx排放高。

[0052] 2)热效率偏低。由于氢气的淬熄距离较短(约为天然气和汽油的1/4)，因此，氢气内燃机的传热损失较大，从而限制了热效率的提升。

[0053] 本发明的核心思想在于提供一种稀薄燃烧系统、方法和发动机，在实现NOx近零排放的同时，提高发动机热效率。

[0054] 为实现上述思想，本发明提供一种稀薄燃烧系统，请参考图1，其示意性地给出了本发明一实施方式提供的稀薄燃烧系统的整体结构示意图。如图1所示，所述稀薄燃烧系统包括高压喷射单元100、点火单元200、进气单元300、排气单元400、燃烧室500和活塞600。

[0055] 其中，所述活塞600能够在所述燃烧室500内往复运动。优选的，所述活塞600为高压缩比活塞600。由此所述活塞600采用高压缩比活塞600，可以使得所述燃烧室500的几何压缩比达到12:1以上，从而能够更好地实现稀薄燃烧。

[0056] 所述高压喷射单元100、所述点火单元200、所述进气单元300和所述排气单元400均设于所述燃烧室500的顶部。其中，所述高压喷射单元100用于向所述燃烧室500内直接喷射氢气，所述进气单元300用于向所述燃烧室500内通入新鲜的空气，所述排气单元400用于将燃烧过程中产生的废气排出，所述点火单元200用于使所述燃烧室500内的燃料燃烧。

[0057] 所述进气单元300包括相连的进气门310和进气道320，所述燃烧室500通过所述进气单元300与外界大气相连通。当所述进气门310闭合时，所述进气道320阻塞；当所述进气门310开启时，所述进气道320与外界大气导通，从而能够通过所述进气道320向所述燃烧室500内通入新鲜的空气。

[0058] 优选的，所述进气单元300还包括进气门升程机构(图中未显示)，所述进气门升程机构用于连续改变进气门310的开启时刻。由此，通过在所述进气单元300设置进气门升程机构，可以更加便于控制进气门310的开启与闭合。

[0059] 所述高压喷射单元100包括高压氢气喷射器110，所述高压氢气喷射器110为伞状喷雾喷油器，所述高压氢气喷射器110用于向所述燃烧室500直接喷射伞状氢气喷雾。由于本发明提供的稀薄燃烧系统中，高压氢气喷射器110为伞状喷雾喷油器，相比于常规缸内直喷氢气内燃机的多孔(≥2孔)喷射器，可以扩大氢气与空气的接触面积，促进氢气与空气的均匀快速混合，从而为实现低NOx，甚至零NOx排放奠定了基础。

[0060] 优选的，所述高压喷射单元100还包括依次相连的高压氢气储存装置120、压力控制阀130和高压氢轨140，所述高压氢轨140的出气口与所述高压氢气喷射器110的进气口相连。其中，所述高压氢轨140的进气口通过管道与所述高压氢气储存装置120的出气口相连，所述高压氢轨140的出气口通过管道与所述高压氢气喷射器110的进气口相连，所述压力控制阀130设于所述高压氢气储存装置120与所述高压氢轨140之间的连接管道上。所述高压轻轨可以用于贮存氢气，同时抑制高压氢气喷射器110在喷气时产生的压力波动，进而确保高压喷射单元100的压力稳定性。

[0061] 优选的，所述高压氢气喷射器110为外开环喷油器或旋涡型喷油器。

[0062] 优选的，所述高压氢气喷射器110的喷射压力不低于30bar。由于所述高压氢气喷射器110的喷射压力不低于30bar，从而可以产生更加均匀的伞状氢气喷雾，更好地实现稀薄燃烧。此外，由于所述高压氢气喷射器110的喷射压力的喷射压力较大，高速的喷雾提高

了点火单元200周围的湍流强度，从而加快了初始火焰的传播速度，使得稀薄混合气得以稳定燃烧。

[0063] 所述排气单元400包括相连的排气门410和排气道420，所述燃烧室500通过所述排气单元400与外界大气相连通。当所述排气门410闭合时，所述排气道420阻塞；当所述排气门410开启时，所述排气道420与外界大气导通，从而能够通过所述排气道420将燃烧室500内燃烧产生的废气排出。

[0064] 优选的，所述排气单元400还包括排气门升程机构(图中未显示)，所述排气门升程机构用于连续改变排气门410的开启时刻。由此，通过在所述排气单元400设置排气门升程机构，可以更加便于控制排气门410的开启与闭合。

[0065] 优选的，所述点火单元200包括相连的点火线圈210和火花塞220。由此，通过所述点火线圈210可以使火花塞220放电，通过该放电可以使位于所述燃烧室500内的燃料燃烧。

[0066] 优选的，所述高压氢气喷射器110喷射的伞状氢气喷雾导向靠近所述火花塞220的位置。由于所述高压氢气喷射器110喷射的伞状氢气喷雾导向靠近所述火花塞220的位置，从而可以确保稀薄燃烧的燃烧稳定性和鲁棒性。

[0067] 优选的，所述高压氢气喷射器110和所述点火单元200均位于所述进气单元300和所述排气单元400之间，所述点火单元200靠近所述排气单元400所在位置。由于排气单元400所在位置处温度太高，通过将所述高压喷射器和所述点火单元200均设于所述进气单元300和所述排气单元400之间，且所述点火单元200靠近所述排气单元400所在位置，从而可以使得所述高压氢气喷射器110远离所述排气单元400，以免高压氢气喷射器110因遭受高温而损坏。

[0068] 优选的，所述进气单元300位于所述燃烧室500顶部的一侧，所述排气单元400位于所述燃烧室500顶部的另一侧，所述高压氢气喷射器110靠近所述燃烧室500顶部的中间位置处。由此，此种设置一方面可以便于所述进气单元300、所述排气单元400和所述高压喷射单元100的布置，另一方面通过将所述高压氢气喷射器110设于靠近所述燃烧室500顶部的中间位置处，可以使得燃烧室500内的氢气与空气能够更加快速地均匀混合，更好地实现稀薄燃烧。需要说明的是，所述高压氢气喷射器110还可以设于所述燃烧室500顶部的侧面，且靠近所述进气单元300所在位置，本发明对此并不作限制。

[0069] 综上所述，本发明提供的稀薄燃烧系统，包括高压喷射单元100、点火单元200、进气单元300、排气单元400、燃烧室500和活塞600；所述活塞600能够在所述燃烧室500内往复运动；所述高压喷射单元100、所述点火单元200、所述进气单元300和所述排气单元400均设于所述燃烧室500的顶部；所述高压喷射单元100包括高压氢气喷射器110，所述高压氢气喷射器110为伞状喷雾喷油器，所述高压氢气喷射器110用于向所述燃烧室500直接喷射伞状氢气喷雾；所述进气单元300包括相连的进气门310和进气道320，所述燃烧室500通过所述进气单元300与外界大气相连通；所述排气单元400包括相连的排气门410和排气道420，所述燃烧室500通过所述排气单元400与外界大气相连通；所述点火单元200用于使所述燃烧室500内的燃料燃烧。由此，通过所述进气单元300可以向所述燃烧室500内输入新鲜空气，通过所述高压氢气喷射器110可以向所述燃烧室500内输入高压伞状氢气喷雾，从而可以在所述燃烧室500内形成均匀的当量空燃比大于2的稀薄混合气。本发明提供的稀薄燃烧系统通过采用伞状喷雾喷油器作为高压氢气喷射器110，相比于常规的缸内直喷氢气的内燃机

的多孔(≥2孔)喷射器,可以扩大氢气与空气的接触面积,促进氢气与空气的快速均匀混合,从而可以实现NOx的低排放甚至零排放。

[0070] 为实现上述思想,基于同一发明构思,本发明还提供一种稀薄燃烧发动机,所述稀薄燃烧发动机包括至少一个上述实施方式所述的稀薄燃烧系统。具体的,所述稀薄燃烧发动机包括至少一个气缸,每个所述气缸对应设置上述实施方式所述的稀薄燃烧系统,由此,可以在各个气缸内实现稀薄燃烧。本发明提供的稀薄燃烧发动机由于包括至少一个上文所述的稀薄燃烧系统,从而具有上文所述稀薄燃烧系统的所有优点,即本发明提供的稀薄燃烧发动机通过采用伞状喷雾喷油器作为高压氢气喷射器,相比于常规的缸内直喷氢气的内燃机的多孔(≥2孔)喷射器,可以扩大氢气与空气的接触面积,促进氢气与空气的快速均匀混合,从而可以实现NOx的低排放甚至零排放。

[0071] 为实现上述思想,基于同一发明构思,本发明还提供一种稀薄燃烧方法,所述稀薄燃烧方法应用于上述实施方式所述的稀薄燃烧发动机。本发明提供的稀薄燃烧方法通过在一个工作循环内,控制进气单元的进气时刻、高压喷射单元的喷射时刻以及点火单元的点火时刻来实现均匀混合气的稀薄燃烧。

[0072] 请参考图3,其示意性地给出了本发明一实施方式中的发动机的运行工况示意图,如图3所示,其中区域I为低负荷工况,区域Ⅱ为中负荷工况,区域Ⅲ为高负荷工况。以下对这三个区域采取的燃烧策略进行详细说明。

[0073] 请参考图4,其示意性地给出了本发明一实施方式提供的低负荷工况下的进气、高压氢气喷射及点火控制策略示意图。如图4所示,在区域I的低负荷工况下,所述稀薄燃烧方法为:

[0074] 针对一个工作循环,在进气冲程开始一段时间之后,开始通过所述高压氢气喷射器向所述燃烧室直接喷射伞状氢气喷雾。

[0075] 如图4所示,在低负荷工况下,燃烧室内的超稀薄混合气主要由伞状喷雾以及较长的混合时间实现,高压氢气喷射开始时刻发生在进气门打开一段时间之后,且整个高压氢气喷射阶段均发生于进气冲程阶段,点火开始时刻发生于压缩冲程末期,从而可以确保燃烧室内的温度低于氢气的自燃温度,在点火前,有足够长的氢气与空气的混合时间,从而可以确保氢气与空气的均匀混合,有效避免出现回火和早燃。此外,由于高压氢气喷射器喷射的是伞状氢气喷雾,从而可以扩大氢气与空气的接触面积,促进了氢气与空气的均匀快速混合。

[0076] 请参考图5,其示意性地给出了本发明一实施方式提供的中负荷工况下的进气、高压氢气喷射及点火控制策略示意图。如图5所示,在区域Ⅱ的中负荷工况下,所述稀薄燃烧方法为:

[0077] 针对一个工作循环,在进气冲程末期,开始通过所述高压氢气喷射器向所述燃烧室直接喷射伞状氢气喷雾。

[0078] 通过对比图4和图5可知,在中负荷工况下,采用的仍然是均匀混合气稀薄燃烧的策略,但和低负荷工况不同的是,在中负荷工况下,伞状氢气喷雾的喷射时刻根据转速负荷的变化而适当推迟。如图4和图5所示,在中负荷工况下,高压氢气喷射开始于进气冲程的末期,结束于压缩冲程。这是因为,在进气冲程阶段喷射氢气,会导致新鲜空气的充气效率下降,随着负荷的增加,达到适量空燃比大于2的目标也越来越困难,对增压系统(涡轮增压或

机械增压)的要求也越来越高。为此,在中负荷工况下,推迟氢气喷射的开始时刻,可以增加空气的充气效率,从而实现均匀混合气当量空燃比大于2的目标。

[0079] 请参考图6,其示意性地给出了本发明一实施方式提供的高负荷工况下的进气、高压氢气喷射及点火控制策略示意图。如图6所示,在区域Ⅲ的高负荷工况下,所述稀薄燃烧方法为:

[0080] 针对一个工作循环,在进气门关闭之后,通过所述高压氢气喷射器向所述燃烧室至少进行两次伞状氢气喷雾的喷射,通过所述点火单元进行一次点火,其中第一次伞状氢气喷雾的喷射发生在点火之前,最后一次伞状氢气喷雾的喷射发生在点火之后。

[0081] 如图6所示,在高负荷工况下,采用的是在压缩冲程和膨胀冲程进行多次氢气喷射的策略,实现多段放热燃烧,这是因为在高负荷工况下,氢气较短的淬熄距离使得传热损失成为制约热效率提升的关键因素。降低高负荷传热损失的关键在于减少氢气与燃烧室壁面的接触,为此,在高负荷工况下,采用多次喷射策略实现降低传热损失的目的。优选的,点火开始时刻距最后一次伞状氢气喷雾的喷射开始时刻的时间间隔为0～20度曲轴转角。

[0082] 如图6所示,在本实施方式中,针对一个工作循环,共进行了三次高压氢气喷射,这三次高压氢气喷射均发生于进气门关闭之后,以获得最大的空气充气效率。其中第一次高压氢气喷射为主喷射,即绝大部分氢气在这一次完成喷射,以确保足够的氢气与空气的混合时间。第二次高压氢气喷射发生在点火之前或点火期间,第三次高压氢气喷射发生在点火之后,第二次高压氢气喷射开始时刻距离点火开始时刻的时间间隔定义为Δ1(曲轴转角),点火开始时刻距离第三次高压氢气喷射开始时刻的时间间隔定义为Δ2(曲轴转角)。优选的,Δ1和Δ2为0～20度曲轴转角。优选的,在第二次高压氢气喷射期间点火,从而可以使得第二次压氢气喷射剩余的氢气以及第三次高压氢气喷射的氢气直接喷射到已经产生的氢气火焰中,避免了这部分氢气与燃烧室壁面的接触,因此,大幅度降低了传热损失,提高了热效率。

[0083] 请参考图7,其示意性地给出了本发明另一实施方式提供的高负荷工况下的进气、高压氢气喷射及点火控制策略示意图。如图7所示,在区域Ⅲ的高负荷工况下,所述稀薄燃烧方法为:

[0084] 针对一个工作循环,在进气门关闭之后,通过所述高压氢气喷射器向所述燃烧室至少进行两次伞状氢气喷雾的喷射,通过所述点火单元进行两次点火,其中第一次伞状氢气喷雾的喷射发生在第一次点火开始之前,最后一次伞状氢气喷雾的喷射发生在第一次点火之后至第二次点火之前的时间段内或第二次点火期间。

[0085] 对比图6和图7可知,在本实施方式中,采用的也是多次喷氢策略,如图7所示,在本实施方式中,针对一个工作循环,共进行了三次高压氢气喷射,这三次高压氢气喷射均发生于进气门关闭之后。本实施方式与上一实施方式的区别在于,在本实施方式中,在第三次高压氢气喷射期间或结束之后又设置了一次点火,将第二次点火开始时刻到第三次喷射开始时刻的时间间隔定义为Δ3(曲轴转角)。优选的,Δ3为0～20度曲轴转角。在本实施方式中,通过设置第二次点火,可以使得第二次高压氢气喷射和第三次高压氢气喷射中可能未完全燃烧而遗留的氢气进一步充分燃烧,从而有效提高燃烧效率。

[0086] 请参考图8,其示意性地给出了本发明中的多段放热策略与常规单段放热策略的对比示意图,由图8可以看出,本发明在高负荷工况下,通过采用多段放热策略,可以降低最

大放热率峰值，并延长了放热时间，从而有助于降低缸内燃烧温度，并最终降低NOx的生成。

[0087] 需要说明的是，在高负荷工况下，还可以在进气门关闭之后进行两次、四次或其他次数的高压氢气喷射，本发明对此并不进行限制。

[0088] 综上所述，与现有技术相比，本发明提供的稀薄燃烧系统、方法和发动机具有以下优点：

[0089] (1)本发明提供的稀薄燃烧系统，包括高压喷射单元、点火单元、进气单元、排气单元、燃烧室和活塞；所述活塞能够在所述燃烧室内往复运动；所述高压喷射单元、所述点火单元、所述进气单元和所述排气单元均设于所述燃烧室的顶部；所述高压喷射单元包括高压氢气喷射器，所述高压氢气喷射器为伞状喷雾喷油器，所述高压氢气喷射器用于向所述燃烧室直接喷射伞状氢气喷雾；所述进气单元包括相连的进气门和进气道，所述燃烧室通过所述进气单元与外界大气相连通；所述排气单元包括相连的排气门和排气道，所述燃烧室通过所述排气单元与外界大气相连通；所述点火单元用于使所述燃烧室内的燃料燃烧。由此，通过所述进气单元可以向所述燃烧室内输入新鲜空气，通过所述高压氢气喷射器可以向所述燃烧室内输入高压伞状氢气喷雾，从而可以在所述燃烧室内形成均匀的当量空燃比大于2的稀薄混合气。本发明提供的稀薄燃烧系统通过采用伞状喷雾喷油器作为高压氢气喷射器，相比于常规的缸内直喷氢气的内燃机的多孔(≥2孔)喷射器，可以扩大氢气与空气的接触面积，促进氢气与空气的快速均匀混合，从而可以实现NOx的低排放甚至零排放。

[0090] (2)本发明提供的稀薄燃烧发动机由于包括至少一个上文所述的稀薄燃烧系统，从而具有上文所述稀薄燃烧系统的所有优点，即本发明提供的稀薄燃烧发动机通过采用伞状喷雾喷油器作为高压氢气喷射器，相比于常规的缸内直喷氢气的内燃机的多孔(≥2孔)喷射器，可以扩大氢气与空气的接触面积，促进氢气与空气的快速均匀混合，从而可以实现NOx的低排放甚至零排放。

[0091] (3)本发明提供的稀薄燃烧方法，包括：在低负荷工况下，针对一个工作循环，在进气冲程开始一段时间之后，开始通过所述高压氢气喷射器向所述燃烧室直接喷射伞状氢气喷雾；在中负荷工况下，针对一个工作循环，在进气冲程末期，开始通过所述高压氢气喷射器向所述燃烧室直接喷射伞状氢气喷雾；在高负荷工况下，针对一个工作循环，在进气门关闭之后，通过所述高压氢气喷射器向所述燃烧室至少进行两次伞状氢气喷雾的喷射，通过所述点火单元进行一次点火，其中第一次伞状氢气喷雾的喷射发生在点火之前，最后一次伞状氢气喷雾的喷射发生在点火之后，或者在在高负荷工况下，针对一个工作循环，在进气门关闭之后，通过所述高压氢气喷射器向所述燃烧室至少进行两次伞状氢气喷雾的喷射，通过所述点火单元进行两次点火，其中第一次伞状氢气喷雾的喷射发生在第一次点火开始之前，最后一次伞状氢气喷雾的喷射发生在第一次点火之后至第二次点火之前的时间段内或第二次点火期间。由此，本发明提供的稀薄燃烧方法在中、低负荷下采用的氢气喷射策略可以实现当量空燃比大于2的均匀稀薄混合气稳定燃烧，从而达到低甚至零NOx排放的目的；在高负荷下采用的氢气多次喷射策略，可以实现多段放热燃烧，在提升热效率的同时，降低NOx的排放。

[0092] 上述描述仅是对本发明较佳实施方式的描述，并非对本发明范围的任何限定，本发明领域的普通技术人员根据上述揭示内容做的任何变更、修饰，均属于权利要求书的保护范围。显然，本领域的技术人员可以对发明进行各种改动和变型而不脱离本发明的精神

和范围。这样，倘若本发明的这些修改和变型属于本发明权利要求及其等同技术的范围之内，则本发明也意图包括这些改动和变型在内。

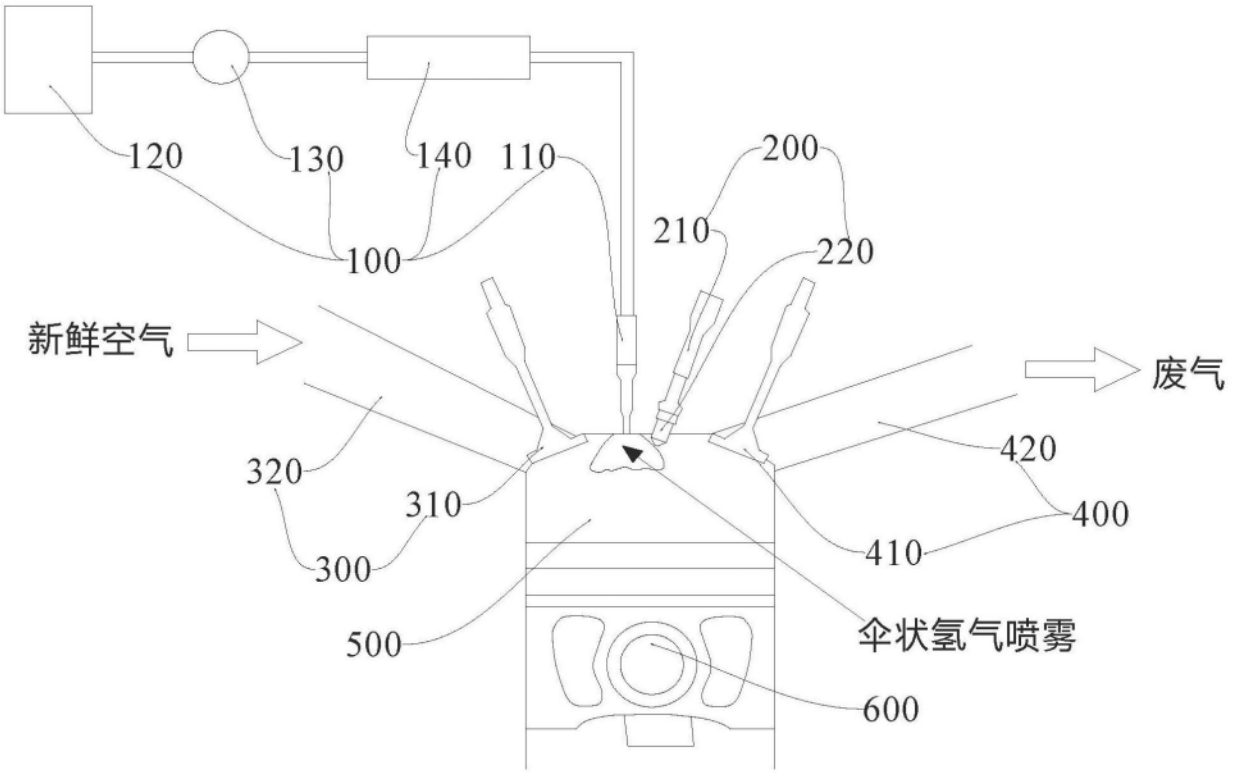

120
130
140
110
200
210
220
100
新鲜空气
废气
320
310
300
500
420
400
410
伞状氢气喷雾
600

图1

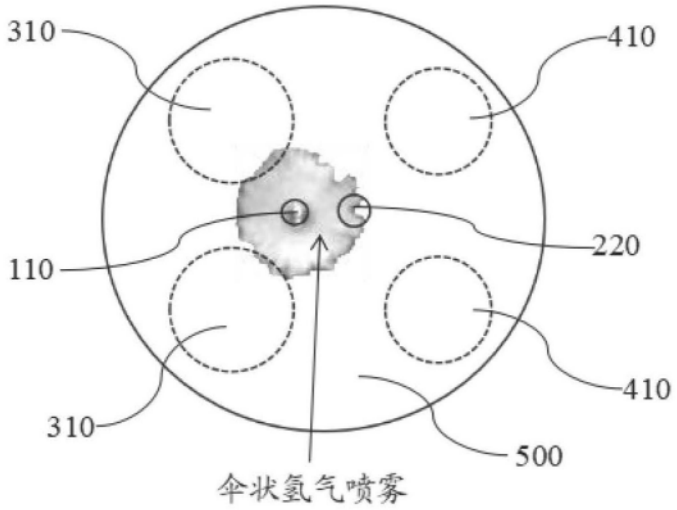

310
410
110
220
310
410
500
伞状氢气喷雾

图2

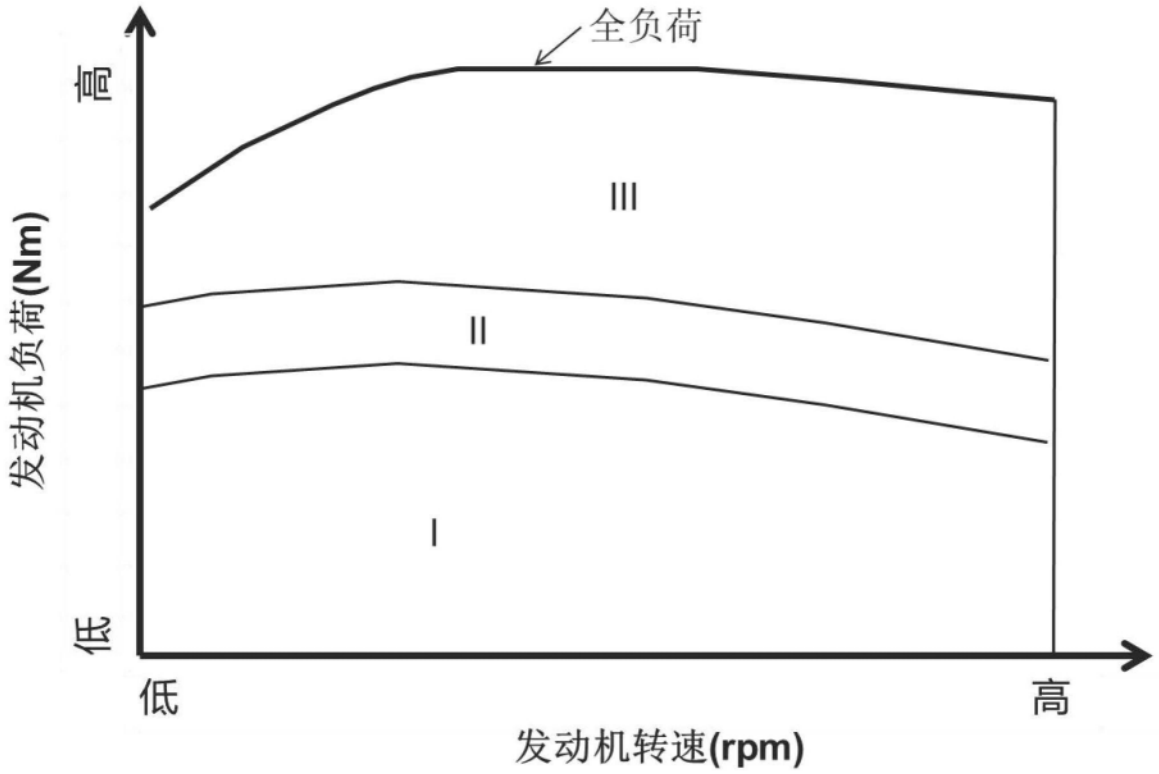

全负荷
高
III
II
I
低
发动机负荷(Nm)
低
高
发动机转速(rpm)

图3

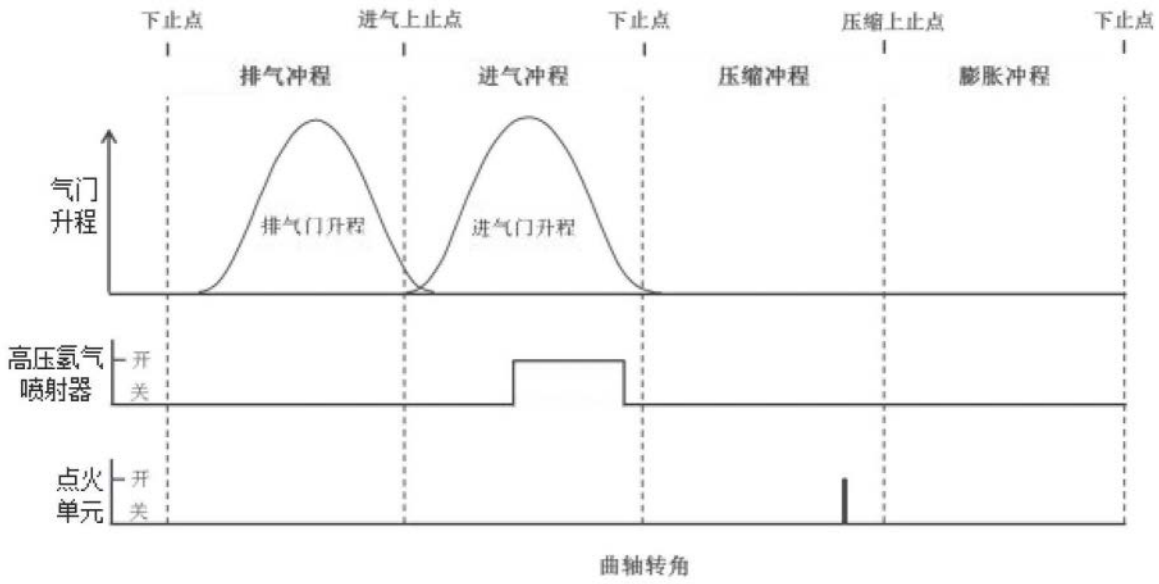

下止点
进气上止点
下止点
压缩上止点
下止点
排气冲程
进气冲程
压缩冲程
膨胀冲程
气门
升程
排气门升程
进气门升程
高压氢气
喷射器
开
关
点火
单元
开
关
曲轴转角

图4

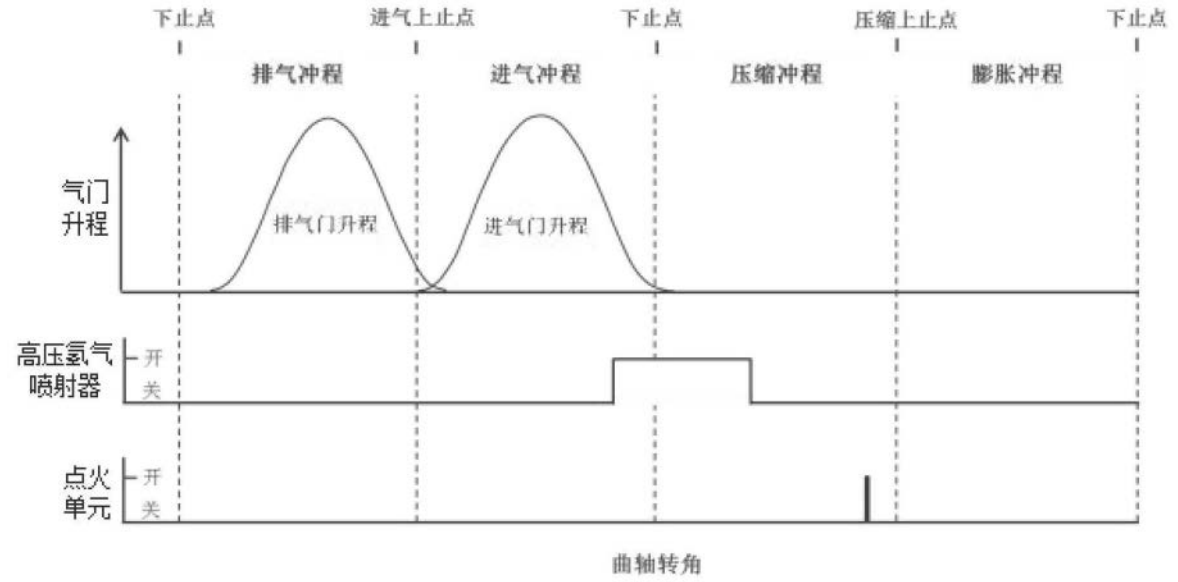

下止点
进气上止点
下止点
压缩上止点
下止点
排气冲程
进气冲程
压缩冲程
膨胀冲程
气门
升程
排气门升程
进气门升程
高压氢气
喷射器
开
关
点火
单元
开
关
曲轴转角

图5

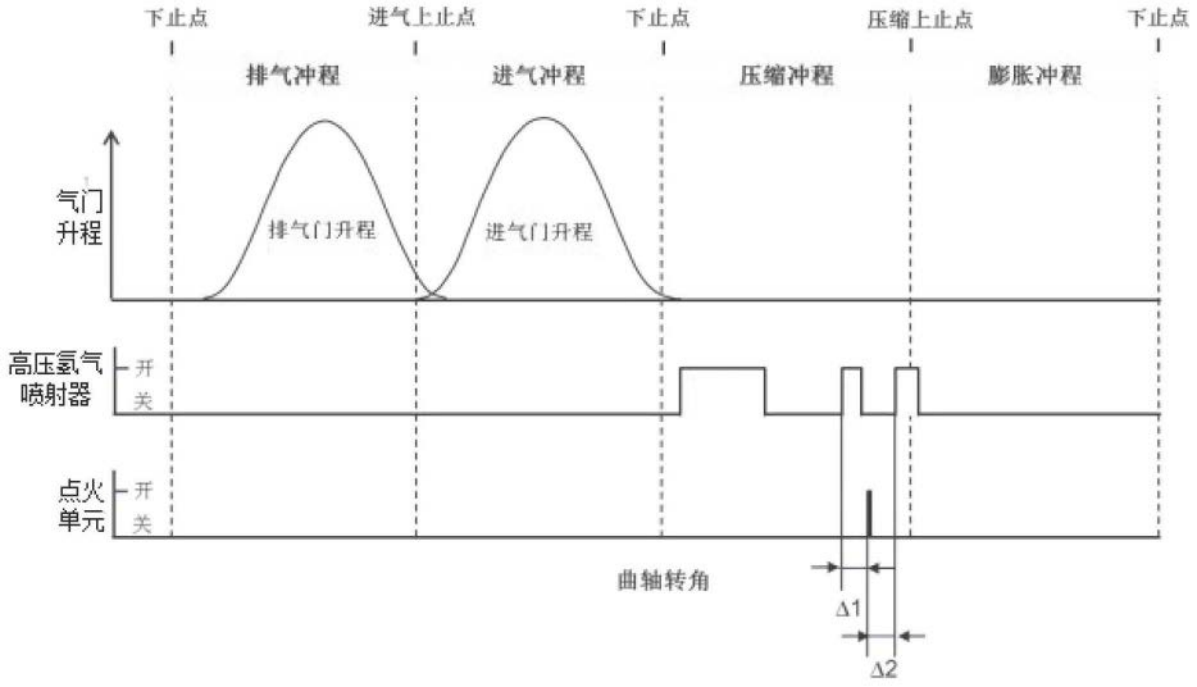

下止点
进气上止点
下止点
压缩上止点
下止点
排气冲程
进气冲程
压缩冲程
膨胀冲程
气门
升程
排气门升程
进气门升程
高压氢气
喷射器
开
关
点火
单元
开
关
曲轴转角
Δ1
Δ2

图6

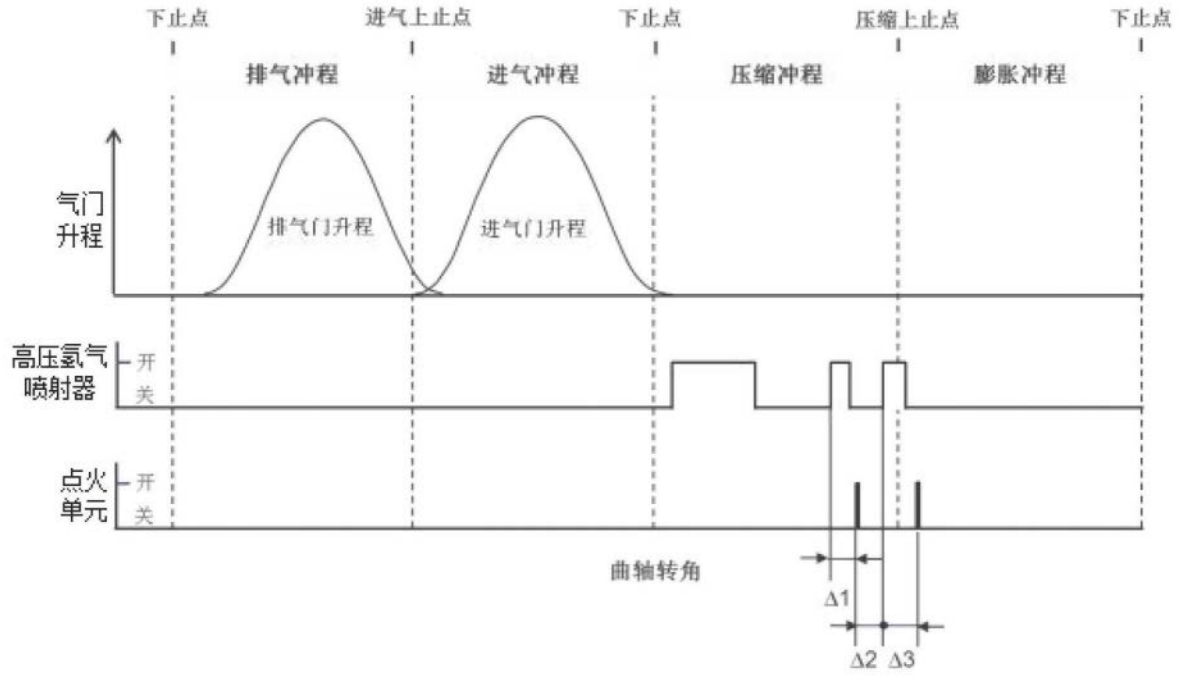

下止点
进气上止点
下止点
压缩上止点
下止点
排气冲程
进气冲程
压缩冲程
膨胀冲程
气门
升程
排气门升程
进气门升程
高压氢气
喷射器
开
关
点火
单元
开
关
曲轴转角
Δ1
Δ2
Δ3

图7

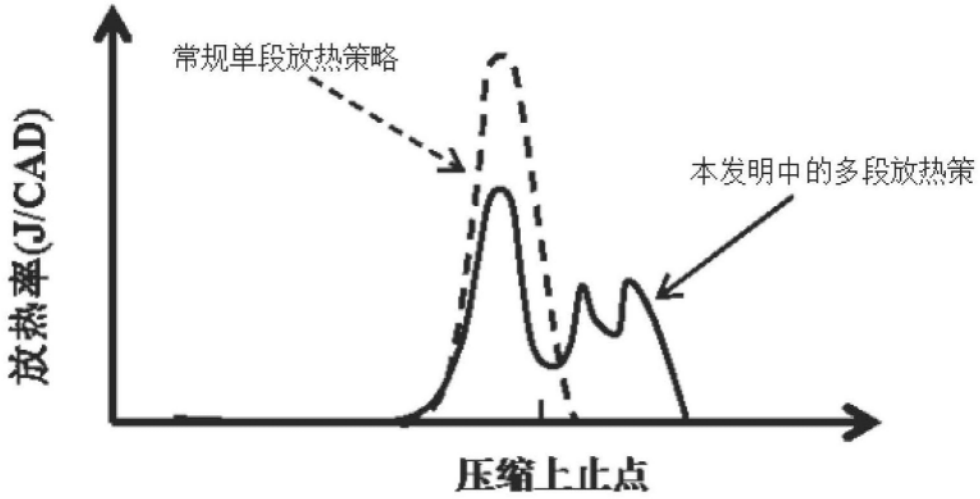

常规单段放热策略
本发明中的多段放热策
放热率(J/CAD)
压缩上止点

图8