

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

F01L 13/08 (2006.01)

F02D 13/02 (2006.01)



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200580020515.7

[45] 授权公告日 2009年9月30日

[11] 授权公告号 CN 100545425C

[22] 申请日 2005.5.17

[21] 申请号 200580020515.7

[30] 优先权

[32] 2004.5.21 [33] GB [31] 0411359.3

[32] 2004.7.9 [33] GB [31] 0415421.7

[86] 国际申请 PCT/GB2005/050068 2005.5.17

[87] 国际公布 WO2005/113947 英 2005.12.1

[85] 进入国家阶段日期 2006.12.21

[73] 专利权人 布鲁内尔大学

地址 英国米德尔塞克斯

[72] 发明人 托马斯·T·马

[56] 参考文献

US2003116124A1 2003.6.26

JP2002339768A 2002.11.27

US2002053336A1 2002.5.9

CN2034991U 1989.3.29

JP2003049682A 2003.2.21

EP0095252A 1983.11.30

审查员 董喜俊

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利  
商标事务所

代理人 寇英杰

权利要求书2页 说明书9页 附图2页

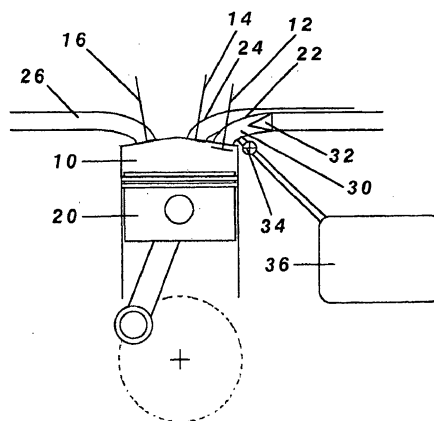
[54] 发明名称

操作内燃机的方法

[57] 摘要

本发明公开了一种用于操作内燃机的方法，该类型的内燃机具有发动机气缸(10)、第一进气口(24)和第二进气口(22)、第一进气门(14)和第二进气门(12)、单向阀(32)和可变气门致动系统，其中发动机气缸具有往复式活塞(20)，第一和第二进气口用于使气体从环境空气供给到发动机气缸中，第一和第二进气门中的每个都布置在相应的一个进气口与发动机气缸之间，单向阀布置在第二进气口(22)中，与第二进气门(12)相隔一段距离并定向成只允许气体向发动机气缸(10)流动，可变气门致动系统用于控制至少第二进气门的打开和关闭。在本发明的方法中，在发动机的至少一个操作模式中，第二进气门(12)被打开和关闭，同时气缸(10)与环境空气完全隔离，以允许气体在气缸与副燃烧室(30)之间传递，该副燃烧室由第二进气口(22)的位

于第二进气门(12)与单向阀(32)之间的部分临时限定。当副燃烧室(30)中的压力大于环境空气供给的压力以致于没有气体经过单向阀(32)泄漏时，第二进气门(12)被打开。



1. 一种操作内燃机的方法，该内燃机具有：

具有往复式活塞的发动机气缸，

用于使气体从环境空气供给到所述发动机气缸中的第一进气口和第二进气口，

第一进气门和第二进气门，每个都布置在相应的一个所述进气口与所述发动机气缸之间，

单向阀，该单向阀布置在所述第二进气口中，与所述第二进气门相隔一段距离，并定向成允许气体只朝向所述发动机气缸流动，以及

用于控制至少所述第二进气门的打开和关闭的可变气门致动系统，

所述方法的特征在于，在所述发动机的至少一个操作模式中，所述第二进气门被打开和关闭，同时所述气缸与环境空气完全隔离，以允许气体在所述气缸和副燃烧室之间传递，该副燃烧室由所述第二进气口的位于所述第二进气门与所述单向阀之间的部分临时限定，当所述副燃烧室中的压力大于环境空气供给的压力以致于没有气体经过所述单向阀泄漏时，所述第二进气门被打开。

2. 根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述发动机具有可变压缩比操作模式，该操作模式包括在发动机循环的压缩周期开始后打开和关闭所述第二进气门，以在所述副燃烧室中捕集一部分压缩进气，以便改变所述发动机的有效压缩比，其中，所述一部分压缩进气是可变化的。

3. 根据权利要求2所述的方法，其特征在于，控制所述发动机的有效压缩比以改变所述气缸进气的压缩温度，以便实现 CAI/HCCI 燃烧并影响自动点火定时。

4. 根据上述权利要求中的任何一项所述的方法，其特征在于，所述发动机具有一操作模式，在该操作模式中，所述发动机用于将压缩空气储存在存储器中，该存储器通过可选操作的阀连接到所述副燃烧室，在该模式中，没有燃料被供给到所述气缸中，所述第二进气门在

所述压缩周期期间被打开和关闭，以将大量压缩空气储存在所述副燃烧室中，并且所述可选操作的阀随后被打开以将压缩空气从所述副燃烧室传递到所述存储器。

5. 根据权利要求4所述的方法，其特征在于，所述发动机具有一操作模式，在该操作模式中，来自所述存储器的压缩空气被用于驱动所述发动机，所述可选操作的阀被打开以给所述副燃烧室加压，并且所述第二进气门随后在所述活塞朝向下止点移动期间被打开。

6. 根据权利要求5所述的方法，其特征在于，所述进气门在所述发动机的燃烧循环的进气周期期间被打开，以驱动所述发动机气缸，并给所述发动机气缸增压，所述进气周期之后是压缩周期和进气燃烧。

7. 根据权利要求5所述的方法，其特征在于，所述发动机具有一操作模式，在该操作模式中，所述发动机用作仅由来自所述存储器的压缩空气驱动的压缩空气马达，在该模式中，所述第二进气门在所述进气周期和膨胀周期中的至少一个的期间被打开和关闭，并且没有燃料被供给到所述发动机。

8. 根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述方法应用于具有凸轮操作可变气门致动系统的发动机，所述可变气门致动系统采用可变气门升程和持续期（VVLD）、可变凸轮轴正时（VCT）、凸轮轮廓转换（CPS）和气门断缸中的一个或多个。

9. 根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述发动机具有电动和/或液压操作的气门致动系统和可变压缩比操作模式，在该模式中，所述第二进气门在各发动机循环中打开和关闭两次，一次在进气周期期间，另一次在压缩周期开始之后的期间。

10. 根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述发动机具有电动和/或液压操作的气门致动系统和一操作模式，在该操作模式中，所述发动机用于将空气压缩在存储器中，该存储器通过可选操作的阀连接到所述副燃烧室，在该模式中，所述第二进气门在各发动机循环中打开和关闭两次，一次在进气周期期间，另一次在压缩周期结束之前的期间。

## 操作内燃机的方法

### 技术领域

本发明涉及一种操作内燃机的方法。

### 背景技术

已知，为了影响压缩或膨胀过程，设置一副燃烧室，该副燃烧室在发动机循环的压缩或膨胀周期期间与发动机气缸连接或断开。EP0095252 提出在压缩期间使用这种副燃烧室捕集气缸进气的一部分，该部分是可变化的，以便改变发动机的有效压缩比。待审查专利申请 PCT/GB2004/001018 提出将副燃烧室用作空气混合动力发动机车辆中的缓冲腔，以当发动机作为气体压缩机操作由此辅助车辆减速时，在两个步骤中将压缩气体经由该副燃烧室传递到压缩气体储存器，并且当发动机作为空气膨胀机操作由此辅助车辆加速时，在两个步骤中使经由该副燃烧室来自压缩气体存储器的压缩气体膨胀。另一个待审查专利申请 GB0405828.5 提出使用副燃烧室以改变气缸进气的压缩温度，以便实现 CAI/HCCI 燃烧并影响自动点火定时。

为了应用以上提出的概念，到目前为止，必须设置专用副燃烧室和在适当时刻与发动机气缸连接的专用控制阀，以便改变内部气体传递。然而，这种系统增加了成本和复杂性，并且难以安装在发动机燃烧室的有限空间中。

### 发明内容

根据本发明，提供一种操作内燃机的方法，该内燃机具有发动机气缸、第一和第二进气口、第一和第二进气门、单向阀和可变气门致动系统，其中发动机气缸具有往复活塞，第一和第二进气口用于使气体从环境空气供给到发动机气缸中，第一和第二进气门中的每个都布置在相应的一个进气口与发动机气缸之间，单向阀布置在第二进气口中，与第二进气门相隔一段距离并定向成只允许气体向发动机气缸

流动，可变气门致动系统用于控制至少第二进气门的打开和关闭，该方法的特征在于，在发动机的至少一个操作模式中，第二进气门被打开和关闭，同时气缸与环境空气完全隔离，以允许气体在气缸和副燃烧室之间传递，该副燃烧室由第二进气口位于第二进气门与单向阀之间的部分临时限定，当副燃烧室中的压力大于环境空气供给的压力以致于没有气体经过单向阀泄漏时，第二进气门被打开。

发动机是已知的，其中单向阀布置在进气门的上游以便改善发动机的进排气。本发明基于这种情况而实现，即，在进气门与单向阀之间临时限定的封闭腔可以起到与在上述现有技术参考中用于内部气体交换所需的副燃烧室相同的作用。

应注意，当进气门在发动机循环的环境空气进气期间被正常地正时以打开或关闭时，在第二进气口中的单向阀将受控于来自发动机气缸的抽吸压力，并且将自动打开以允许环境空气沿向发动机气缸的方向流过。另一方面，当需要内部气体传递和进气门的打开和关闭时刻被改变以将第二进气口暂时连接到高于来自环境空气的进气压力的局部压力时，第二进气口将不再起到环境空气流动口的作用，但发动机仍可以用通过第一进气口供给的空气操作，以便除了可能降低发动机的充气效率以外，对发动机的运转没有显著的不利影响。

在本发明中，通过将第二进气口的端部转换成临时副燃烧室，在燃烧室中不需要额外的空间以包含该设备，并且通过利用现有的进气门及其气门致动系统，而不需重复控制单独的副燃烧室所必需的连接阀和相关阀致动系统，由此节约成本。

单向阀优选为安装在第二进气口中用于隔离临时副燃烧室的簧片阀。

在本发明的一个实施例中，可以通过遵循这样的方法步骤使发动机作为可变压缩比发动机操作，即，通过将第二进气门的打开和关闭时刻移到发动机循环的压缩周期开始之后，将临时副燃烧室与发动机气缸暂时地连接，由此在副燃烧室中捕集压缩进气的一部分，该部分是可变化的，以便改变发动机的有效压缩比。

设置上述副燃烧室可以应用 EP0095252 中说明的用于可变压缩比发动机的建议。而且，通过改变有效压缩比，可以根据 GB0405828.5 中说明的建议将本方法用于改变气缸进气的压缩温度，以便实现 CAI/HCCI 燃烧并影响自动点火定时。

在另一个应用中，为了在车辆减速期间在没有燃料不点火的循环中吸收动力，可以通过遵循这样的方法步骤使发动机作为空气压缩机操作，即，通过将第二进气门的打开和关闭时刻移到发动机循环的压缩周期终点的前期，将所述临时副燃烧室与发动机气缸暂时地连接，由此在副燃烧室中捕集一些压缩空气，然后通过设置在所述副燃烧室与所述加压空气存储器之间的定时开/关的阀将继而密封的副燃烧室与外部增压空气存储器暂时地连接，由此将一些压缩空气传递到空气存储器中。

提供继而密封的副燃烧室经由开/关阀到外部压缩空气存储器的以上进一步连接使得在 PCT/GB2004/001018 中说明的建议可以应用于空气混合动力发动机，该空气混合动力发动机偶尔在车辆减速期间用作用于从往复活塞吸收动力的空气压缩机。在这种情况下，本发明的方法将在发动机循环的后压缩周期期间在临时副燃烧室中捕集一些压缩空气，并且随后在发动机循环的剩余过程期间将捕集到的空气释放到外部加压空气存储器中，由此在加压空气存储器中储存一些压缩空气能量。

储存的压缩空气可以以后在空气混合动力发动机中以各种方式重新使用，如在停-起操作期间起动和重新起动发动机、在加速期间用压缩空气的快速释放给发动机增压以便减小来自涡轮增压器的响应滞后、为了催化剂快速起燃和微粒捕集器再生而将二次空气喷入发动机排气以及在一定的巡航工况下为发动机助力。

尤其在另外一个应用中，本发明的方法可以应用在特定组合的“起动-点火 (crank-fire)”循环中，该循环用于在停-起操作期间使用储存在外部加压空气存储器中的压缩空气起动发动机并使发动机点火。在这种情况下，改变第一和第二进气门的打开和关闭定时，以通过这样

的方式使发动机气缸与环境空气供给隔离，即，在发动机循环的进气周期期间根本不打开第一进气门（借助于气门断缸的可变气门致动系统），同时正常地打开和关闭第二进气门，而且通过打开定时开/关阀将第二进气口连接到外部加压空气存储器。在上述起动-点火循环期间，第二进气口中的单向阀将由于来自外部空气存储器的空气压力而保持关闭，并且压缩空气将在进气周期期间进入气缸并同时以高压驱动活塞，由此产生用于起动发动机的辅助动力。相同的空气继而在紧接着的压缩周期中被压缩并与燃料一起被点燃，由此产生进一步的燃烧动力。这将在同一循环中用两个转矩脉冲非常迅速地给发动机加速。

通过根据上述方法将整个一系列发动机气缸连接到共用的外部加压空气存储器，起动-点火循环将只在一个或两个曲轴转数以内与气缸的点火顺序自动同步、转动曲轴并瞬间重新启动发动机。一旦发动机已经起动，来自外部空气存储器的压缩空气就被切断，并且发动机将平滑且自然地过渡到正常点火模式，同时第二进气口中的单向阀立即自动打开以在随后的循环中通过进气口吸取环境空气，接着重新致动第一进气门。因此根据本发明的内部气体传递方法的起动-点火循环对于空气混合动力发动机中的停-起操作是非常有效的过程。

在车辆的驱动、加速和快速起动期间，上述起动-点火循环也可以用来以很多巴的压缩空气压力的很高增压给发动机增压，虽然是很短的时间，却产生超过由涡轮增压器增压正常预期的瞬时转矩的很大的转矩，因此消除了由涡轮迟滞引起的响应滞后和排放烟度问题。

当然，发动机可以在任何时候通过将第一和第二进气门的打开和关闭时刻都移到发动机循环的环境空气进气周期而切换到用两个流通进气口操作，以使充气效率最大化。

在本发明的上述应用中，使用可变气门致动系统以改变第一和第二进气门的打开和关闭时刻。这可以是使用电液或电磁致动器的无凸轮型的完全柔性可变气门致动系统，但这种系统目前仍处于原型开发阶段并且很复杂和昂贵。因此本发明的优点是也可以使用简单得多并且经过验证的凸轮致动系统实现，如可变凸轮轴正时（VCT）、可变

气门升程和持续期 (VVL)、凸轮轮廓转换 (CPS) 和气门断缸 (de-act), 所有这些都可以迅速变为量产发动机中的标准部件。

为了快速参考, VCT 通过可变相位器正时滑轮驱动凸轮轴而实现, 其示例可以在很多发动机中找到, 如福特 (Ford®)、通用汽车 (General Motors®) 和丰田 (Toyota®), VVL 通过可变几何摇臂而实现, 其示例可以在宝马 (BMW®) 发动机中找到, CPS 通过凸轮从动件与在共用凸轮轴上的两个可用固定凸轮轮廓中的一个的可选接合而实现, 其示例可以在本田 (Honda®) 发动机中找到, 气门断缸通过具有无效运动的锁定机构而实现, 该机构是由依顿 (Eaton) 公司为可变排量发动机开发的。

通过根据需要为使用本发明的内部气体传递方法的不同发动机应用选择最经济的可变气门致动系统, 可以为每种应用生产高效并且可靠的成套组件。例如, 使用由本发明产生的临时副燃烧室的可变压缩比发动机可以由具有小气门升程和窄的气门持续期的 VVL 接合作用在第二进气门上的 VCT 而控制。在另一个示例中, 使用临时副燃烧室的低成本空气混合动力发动机可以通过作用在第二进气门上的 VCT 或 CPS 在点火模式和压缩机模式之间切换, 并且也可以在停-起期间通过作用在第一进气门上的气门断缸切换到起动-点火循环模式。而且, 该发动机中也可以包括作用在第一进气门上的另一个 VCT 或 CPS 系统, 以与传统使用目的一样提高高速性能。

在上述示例中, 生产验证了的 VCT、VVL、CPS 或断缸的硬件被用以获得可变压缩比、HCCI/CAI 燃烧控制和空气混合动力操作的额外的功能性。这使得本发明的内部气体交换方法高度实用, 仅需要较小的开发努力以实现潜力。

#### 附图说明

现在将参照附图通过示例进一步说明本发明, 在附图中:

图 1 示出在本发明的内部气体传递方法中使用的内燃机的简图, 该内燃机具有第一和第二进气口, 并且第二进气口具有单向阀;

图 2a、2b、2c、2d 示出应用本发明的内部气体传递方法的若干方



式的曲线图，所述若干方式使用生产证明了的的可变气门致动系统以获得发动机额外的功能性。

### 具体实施方式

图 1 示出一内燃机，该内燃机在每个气缸中都具有与排气口 26 一起工作的第一和第二进气口 24、22，其中每个气口都由相联的气门 14、12、16 控制，这些气门在发动机循环的进气或排气过程期间定时打开和关闭以便控制发动机的进排气。在第二进气口 22 中额外设置有单向簧片阀 32，该簧片阀这样定位，即，当进气口 22 和单向阀 32 受控于臂来自环境空气的输送压力高的局部压力时，阀 32 在远离发动机气缸 10 的方向上自动关闭。发动机还包括未示出的燃料系统和点火系统。

在上述发动机中，为进气门 12、14 设置有可变气门致动系统（未示出）。这如同在使用电液或电磁致动器的电控无凸轮气门致动系统中一样，是完全柔性并且可变的。然而，并不需要那么复杂，本发明可以使用较简单的、量产的、凸轮轴致动的可变气门系统来实现，如 VCT、VVLD、CPS 和气门断缸。

第二进气门 12 在发动机循环的环境空气进气周期期间被正常地定时以打开和关闭，在此期间，单向阀 32 受控于来自发动机气缸 10 的抽吸压力并且将自动打开，以允许空气沿朝向发动机气缸 10 的方向流过。当需要用与环境空气供给隔离的气缸 10 传递内部空气时，第二进气门 12 的定时可以被改变以在发动机循环的压缩周期期间打开和关闭，由此使第二进气口 22 和单向阀 32 受控于臂来自环境空气的传送压力高的局部压力，因此单向阀 32 自动关闭并隔离第二进气口 22 的端部，以形成临时副燃烧室 30，并且在副燃烧室 30 与发动机气缸 10 之间可以发生气体传递。

单向簧片阀 32 被设计成具有快速响应性和克服临时副燃烧室 30 中的高压的良好的密封性。该单向簧片阀也被设计成当进气口 22 中有抽吸压力时允许很高的流通量。

在图 1 中，发动机在这样的时间示出，即，发动机循环正在经历

压缩, 进气门 14 和排气门 16 处于关闭位置。另一方面, 示出了进气口 22 的进气门 12 此时正处于打开位置, 而将临时副燃烧室 30 与发动机气缸 10 连接, 并且允许气体在副燃烧室 30 与发动机气缸 10 之间内部传递。

应注意, 在上述情况下, 第二进气口 22 在发动机循环的进气周期期间将停止起到环境空气流口的作用, 但发动机将继续以第一进气口 24 及其相联的进气门 14 完全起环境空气流口的作用而操作, 以便除了在发动机的充气效率上可能减小之外, 对发动机的运转没有显著的不利影响。

本发明的内部气体传递方法可以用于以各种方式影响发动机的动力转换过程, 所述方式将在下文中以图 2b、2c、2d 所示的若干示例进行说明。

在根据 EP0095252 中说明的提议的第一示例中, 可以通过这样的方法步骤使发动机作为可压缩比发动机操作, 即, 通过将第二进气门 12 的打开和关闭时刻移到发动机循环的压缩周期开始之后, 将临时副燃烧室 30 与发动机气缸 10 暂时地连接, 由此在副燃烧室 30 中捕集压缩进气的一部分, 该部分是可变化的, 以便改变发动机的有效压缩比。如图 2b 所示, 这可以使用与作用在第二进气门 12 上的 VCT 结合的生产验证了的 VVLD 气门致动系统来实现。

因此可以根据 GB0405828.5 中说明的提议将上述可压缩比发动机用于改变气缸进气的压缩温度, 以便实现 CAI/HCCI 燃烧并影响自动点火定时。

在第二示例中, 为了在减速期间在没有燃料不点火的循环中吸收动力, 可以通过遵循这样的方法步骤使发动机作为空气压缩机操作, 即, 通过将第二进气门 12 的打开和关闭时刻移到发动机循环的压缩周期终点的前期, 将所述临时副燃烧室 30 与发动机气缸 10 暂时地连接, 由此在副燃烧室 30 中捕集一些压缩空气, 然后通过设置在所述副燃烧室 30 与所述加压空气存储器 36 之间的定时开/关的阀 34 将继而密封的副燃烧室 30 与外部增压空气存储器 36 暂时地连接, 由此将一些压

缩空气传递到空气存储器 36 中。如图 2c 所示, 这可以使用作用在第二进气门 12 上的生产验证了的 VCT 或 CPS 阀致动系统来实现。

提供继而密封的副燃烧室 30 经由开/关阀 34 到外部压缩空气存储器 36 的以上进一步连接使得在 PCT/GB2004/001018 中说明的建议可以应用于空气混合动力发动机, 该空气混合动力发动机偶尔在减速期间用作用于从往复活塞吸收动力的空气压缩机。在这种情况下, 本发明的内部气体传递方法将在发动机循环的后压缩周期期间将一些压缩空气捕集到临时副燃烧室 30 中, 并且在发动机循环的剩余过程期间将捕集到的空气随后释放到外部加压空气存储器 36 中, 由此在加压空气存储器 36 中储存一些压缩空气能量。

储存的压缩空气可以以后在空气混合动力发动机中以各种方式重新使用, 如在停-起操作期间起动和重新起动发动机、在加速期间用加压空气的快速释放给发动机增压以便减小来自涡轮增压器的响应滞后、为了催化剂快速起燃和微粒捕集器再生而将二次空气喷入发动机排气以及在一定的巡航工况下为发动机助力。

尤其在第三示例中, 本发明的内部气体交换方法可以应用在组合的“起动-点火”循环中, 该循环用于在停-起操作期间使用储存在外部加压空气存储器 36 中的压缩空气起动发动机并使发动机点火。在这种情况下, 以这样的方式改变第一和第二进气门的打开和关闭时刻, 即, 以便于通过这样的方式使发动机气缸与环境空气供给隔离, 即, 在发动机循环的进气周期期间根本不打开第一进气门 14 (气门断缸), 同时正常地打开和关闭第二进气门 12, 而且通过打开定时开/关阀 34 将第二进气口 22 连接到外部加压空气存储器 36。在上述起动-点火循环期间, 第二进气口 22 中的单向阀 32 将由于来自外部空气存储器 36 的空气压力而保持关闭, 并且压缩空气将在进气周期期间进入气缸 10 并同时以高压向下驱动活塞 20, 由此产生用于起动发动机的辅助动力。相同的空气继而在紧接着的压缩周期中被压缩并与燃料一起被点燃, 由此产生进一步的燃烧动力。这将在同一循环中用两个转矩脉冲非常迅速地给发动机加速。如图 2d 所示, 这可以使用生产验证了的作

用在第一进气门 14 上的气门断缸系统来实现。

通过根据上述方法将整个一列发动机气缸连接到共用的外部加压空气存储器 36，起动-点火循环将只在一个或两个曲轴转数以内与气缸的点火顺序自动同步、转动曲轴并瞬间重新启动发动机。一旦发动机已经起动，来自外部空气存储器 36 的压缩空气就被切断，并且发动机将平滑且自然地过渡到正常点火模式，同时第二进气口 22 中的单向阀 32 立即自动打开以在随后的循环中通过进气口 22 吸取环境空气，接着重新致动第一进气门 14。因此根据本发明的内部气体传递方法的起动-点火循环对于空气混合动力发动机中的停-起操作是非常有效的过程。

在车辆的驱动、加速和快速起动期间，上述起动-点火循环也可以用来以很多巴 (bars) 压缩空气压力的很高增压给发动机增压，虽然是很短的时间，却产生超过由涡轮增压器增压正常预期的瞬时转矩的很大的转矩，因此消除了由涡轮迟滞引起的响应滞后和排放烟度问题。

当然，如图 2a 所示，发动机可以在任何时候通过将第一和第二进气门 14、12 的打开和关闭时刻都移到发动机循环的环境空气进气周期而切换到用两个流通进气口 24、22 操作，以使充气效率最大化。

在上述示例中，生产验证了的 VCT、VVLD、CPS 或断缸的硬件被用以获得可压缩比、HCCI/CAI 燃烧控制和空气混合动力操作的额外的功能性。这使得本发明的内部气体交换方法高度实用，仅需要较小的开发努力以实现潜力。

另一方面，当更多电磁或电液气门致动器变得可用时，可以更加完善地使用该方法。例如，第二进气门 12 可以在每个发动机循环中打开和关闭两次，一次在环境空气进气期间，另一次在气缸 10 与环境空气供给隔离之后，由此将用于完全充气效率和可压缩比的图 2a 和图 2b 的气门功能结合，并将用于完全充气效率和压缩机模式的图 2a 和图 2c 的气门功能结合。

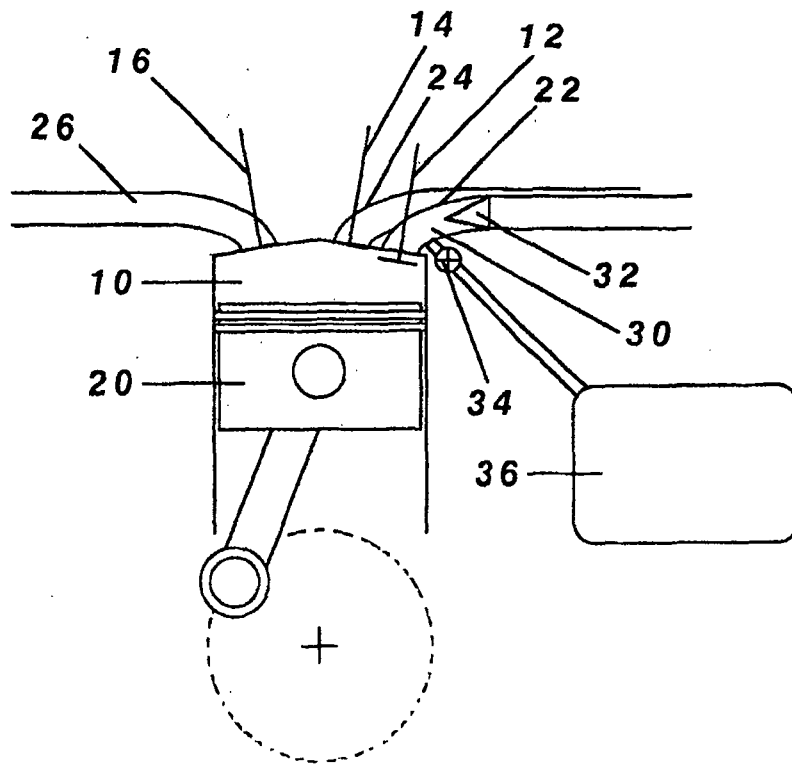


图1

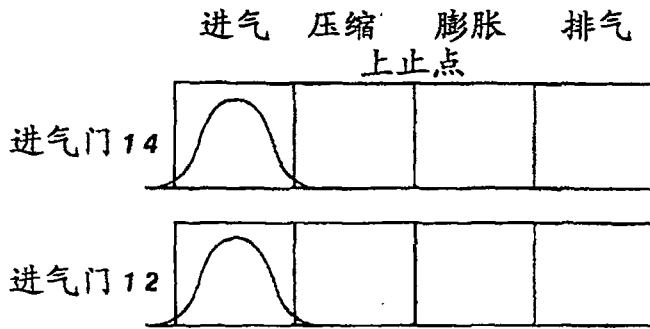


图 2a  
双进气模式

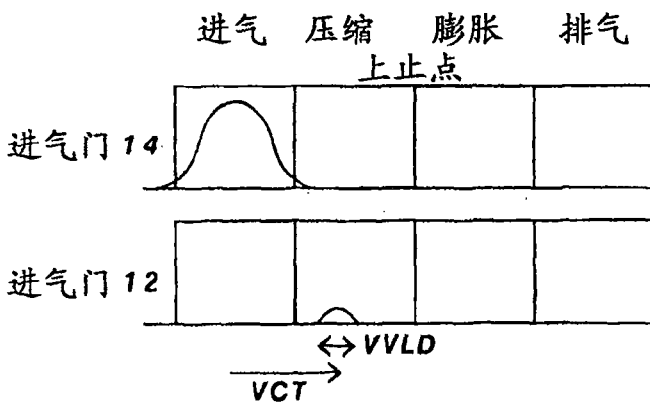


图 2b  
可变压缩比

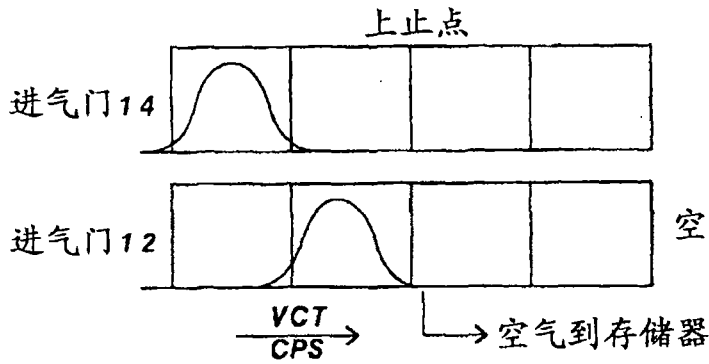


图 2c  
空气压缩机模式

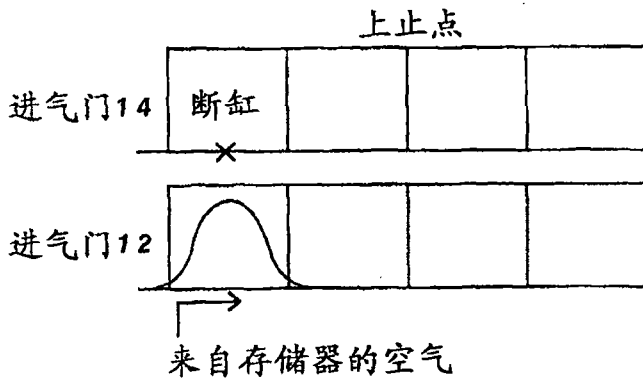


图 2d  
起动-点火循环模式