[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
F02D 19/02 (2006.01)
F02B 43/02 (2006.01)
F02M 21/02 (2006.01)

[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200580045427.2

[43] 公开日 2007 年 12 月 26 日

[11] 公开号 CN 101094978A

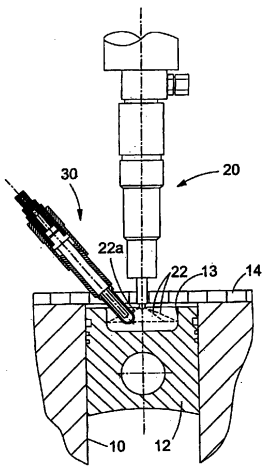
[22] 申请日 2005.10.25
[21] 申请号 200580045427.2
[30] 优先权
[32] 2004.11.2 [33] US [31] 10/979,700
[86] 国际申请 PCT/CA2005/001642 2005.10.25
[87] 国际公布 WO2006/047856 英 2006.5.11
[85] 进入国家阶段日期 2007.6.29
[71] 申请人 西港能源公司
地址 加拿大不列颠哥伦比亚
[72] 发明人 J·G·克劳福德 K·R·C·曼
[74] 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司
代理人 王 琼
权利要求书 8 页 说明书 30 页 附图 8 页
按照条约第 19 条的修改 7 页

[54] 发明名称

把气态燃料喷射到内燃机中的方法

[57] 摘要

一种气态燃料内燃机的运行方法，该方法包括：选择至少两个预定工作模式中的一个以作为发动机负荷和发动机速度的函数。 在命令所述发动机工作在与低负荷和低速度范围相对应的第一区域内时，选择第一工作模式；及，在命令所述发动机工作在不同于所述第一区域的第二区域内时，选择第二工作模式，与所述第一区域相比，所述第二区域与更大负荷范围和更大速度范围中的至少一个相对应。 在所述第一工作模式中，在一个喷射过程中引入气态燃料，其中，命令所述喷射阀以恒定幅度 A1 打开。 在所述第二工作模式中，在一个喷射过程中引入气态燃料，并且命令喷射阀以恒定幅度 A2 开始一个预定时间，及然后打开到幅度 A3，其中幅度 A3 大于幅度 A2。



1.一种气态燃料内燃机的运行方法，该内燃机包括：至少一个燃烧室，它由气缸、在所述气缸内可往复运动的活塞和盖住所述气缸的端部的缸盖限定出；活塞杆，它把所述活塞连接到曲轴上，因此所述曲轴借助所述活塞的往复运动可以旋转；燃料喷射阀，具有设置在所述燃烧室内的喷嘴端从而把气态燃料直接引入到所述燃烧室内；及点火装置，包括点火器，该点火器可以借助电加热件来加热，所述方法包括：

选择至少两个预定工作模式中的一个以作为发动机负荷和发动机速度的函数，其中在命令所述发动机工作在与低负荷和低速度范围相对应的第一区域内时，选择第一工作模式；及在命令所述发动机工作在不同于所述第一区域的第二区域内时，选择第二工作模式，与所述第一区域相比，所述第二区域与更大负荷范围和更大速度范围中的至少一个相对应；

在所述第一工作模式中，在每个燃烧循环的单个喷射过程中引入所述气态燃料，并且命令所述喷射阀以恒定幅度 A1 打开；以及

在所述第二工作模式中，在每个燃烧循环的单个喷射过程中引入所述气态燃料，并且命令所述喷射阀以恒定幅度 A2 开始一个预定时间，及然后命令所述喷射阀打开到幅度 A3，其中幅度 A3 大于幅度 A2。

2.根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，还包括：在命令所述发动机在不同于所述第二区域的第三区域内进行工作时，选择第三工作模式，与所述第二区域相比，所述第三区域与较大负荷范围和较大速度范围中的至少一个相对应，以及在所述第三工作模式中，在每个燃烧循环的两个独立喷射过程中引入所述气态燃料，和命令所述喷

射阀打开到第一喷射过程的幅度 A4 和第二喷射过程的幅度 A5。

3. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，还包括：在选择所述第一工作模式时，命令所述喷射过程的持续时间为 3 到 5 毫秒。

4. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，还包括：所述幅度 A1 是最小的幅度，对于由所述第一工作模式所限定出的工作条件，它形成绕着所述点火器的可燃的燃料空气混合气。

5. 根据权利要求 4 所述的方法，其特征在于，用于开始和结束所述喷射过程的正时被确定为发动机速度的函数，在开始和结束所述喷射过程之间的时间随着发动机速度从怠速开始增大而增大。

6. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，对于每个工作条件，所述幅度 A1 被预先确定为最小的幅度，对于由所述第一工作模式所限定出的每个相应的工作条件，该幅度形成绕着所述点火器的可燃的燃料空气混合气。

7. 根据权利要求 6 所述的方法，其特征在于，对于恒定发动机速度，和当选择所述第一工作模式时，在开始和结束所述喷射过程之间的时间是恒定的并且幅度 A1 随着发动机负荷增大而增大。

8. 根据权利要求 6 所述的方法，其特征在于，用于开始和结束所述喷射过程的正时被确定为发动机速度的函数，在开始和结束所述喷射过程之间的时间随着发动机速度从怠速开始增大而减小。

9. 根据权利要求 8 所述的方法，其特征在于，在选择所述第一工作模式并且所述发动机工作在怠速或者接近怠速时，所述方法还包括，在所述曲轴位于上死点之前的 9 到 15 度的曲柄角度时开始所述喷射过程。

10. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述幅度 A2 是最小幅度，对于由所述第二工作模式所限定出的工作条件，该幅度形成

绕着所述点火器的可燃的燃料空气混合气。

11.根据权利要求1所述的方法，其特征在于，还包括，对于所述第二工作模式所限定出的每个工作条件，将所述幅度A2校准成最小幅度，该最小幅度形成绕着所述点火器的可燃的燃烧空气混合气。

12.根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述幅度A3是或者接近所述喷射阀的最大可命令的幅度。

13.根据权利要求1所述的方法，其特征在于，还包括，调节作为缸内压力的函数的所述幅度A1和A2，因此所述命令的幅度随着缸内压力的减小而增大。

14.根据权利要求1所述的方法，其特征在于，在所述发动机以所述第二工作模式进行工作时，所述方法还包括：在所述曲轴位于上死点之前的11到36度曲柄角度时，命令所述喷射阀打开到所述幅度A2。

15.根据权利要求1所述的方法，其特征在于，由所述第二工作模式所限定出的多个工作条件中的一个是在所述发动机工作在日本G13排放证明实验的模式6上时，及所述方法还包括，在所述曲轴位于上死点之后的2到15度曲柄角度时，在模式6上命令所述喷射阀打开到所述幅度A3。

16.根据权利要求1所述的方法，其特征在于，由所述第二工作模式所限定出的多个工作条件中的一个是在所述发动机工作在日本G13排放证明实验的模式6上时，及所述方法还包括：在所述活塞处于上死点之后时，在模式6上命令所述喷射阀打开到所述幅度A3。

17.根据权利要求16所述的方法，其特征在于，在所述发动机工作在模式6上时，所述方法还包括，在所述曲轴位于上死点之前的22到30度曲柄角度之间时，命令所述喷射阀打开到所述幅度A2。

18.根据权利要求17所述的方法，其特征在于，还包括，命令所

述喷射阀打开到所述幅度 A2 以持续 2.4 到 3.7 毫秒的时间。

19. 根据权利要求 17 所述的方法，其特征在于，还包括，命令所述喷射阀打开到所述幅度 A2 以持续 3.7 毫秒的时间。

20. 根据权利要求 18 所述的方法，其特征在于，还包括，命令所述喷射阀从所述幅度 A2 打开到所述幅度 A3 并且在被命令到所述幅度 A3 为 0.8 毫秒之后关闭。

21. 根据权利要求 16 所述的方法，其特征在于，所述方法还包括，命令所述喷射阀打开到所述幅度 A3 以持续 0.6 到 1.0 毫秒的时间。

22. 根据权利要求 21 所述的方法，其特征在于，幅度 A3 是或者接近所述喷射阀的最大可命令的幅度。

23. 根据权利要求 2 所述的方法，其特征在于，所述幅度 A4 大于所述幅度 A1，并且所述幅度 A5 等于或者大于所述幅度 A4。

24. 根据权利要求 23 所述的方法，其特征在于，所述幅度 A4 是所述喷射阀的最大可命令的幅度。

25. 根据权利要求 2 所述的方法，其特征在于，在所述发动机以最大额定功率或者以接近最大额外功率进行工作时，所述幅度 A5 是所述喷射阀的最大可命令的幅度。

26. 根据权利要求 25 所述的方法，其特征在于，在所述发动机工作在所述第三工作模式上时，对于恒定发动机速度，所述方法还包括改变作为发动机负荷的函数的所述幅度 A5，所述幅度 A5 随着发动机负荷的减小而减小。

27. 根据权利要求 26 所述的方法，其特征在于，还包括，在所述发动机以最大额定功率或者以接近最大额定功率进行工作时，命令所述第二喷射过程具有 2 毫秒的持续时间，并且在所述发动机以小于或者等于 75%的最大额定功率进行工作时，使所述持续时间减小到 1.8 毫

秒。

28. 根据权利要求 25 所述的方法，其特征在于，在所述发动机以所述第三工作模式进行工作时，对于恒定发动机负荷，所述方法还包括：改变开始作为发动机速度的函数的所述第一喷射过程的正时，因此随后，在燃烧循环中，命令开始所述第一喷射过程的正时，当发动机速度减小时，在所述第一和第二喷射过程的开始之间的数毫秒的相对正时保持恒定。

29. 根据权利要求 2 所述的方法，其特征在于，在选择所述第三工作模式时，所述方法还包括命令第一喷射过程的持续时间为 0.4 毫秒。

30. 根据权利要求 29 所述的方法，其特征在于，在所述第一喷射过程的结束和第二喷射过程的开始之间的正时为 0.3 和 0.4 毫秒之间。

31. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，在选择所述第二工作模式并且所述发动机工作在稳定状态条件下时，所述方法还包括把所述发动机的进气系统中的升压限制到小于 120kPag。

32. 根据权利要求 31 所述的方法，其特征在于，所述升压被限制到小于 65kPag。

33. 根据权利要求 2 所述的方法，其特征在于，在选择所述第三工作模式并且所述发动机工作在稳定状态条件下时，所述方法还包括：命令所述发动机进气系统中的升压为 100 和 120kPag 之间。

34. 根据权利要求 33 所述的方法，其特征在于，所述升压被限制成小于 100kPag。

35. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，在模式 6 上命令所述发动机工作在稳定状态条件下并且选择所述第二工作模式时，所述方法还包括把进气系统中的升压限制成使 λ 小于 2.7。

36. 根据权利要求 2 所述的方法，其特征在于，在选择所述第三工

作模式并且所述发动机工作在稳定状态条件下时，所述方法还包括：命令所述发动机的进气系统中的升压，以致 λ 为 1.4 到 1.5、及更加优选为 1.5。

37. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，在选择所述第一或者第二工作模式中的一个时，所述方法还包括：控制喷射正时和命令的幅度中的至少一个，从而

引入参照发动机图表所确定的预定量燃料；及

在燃烧开始之后结束所述喷射过程。

38. 根据权利要求 37 所述的方法，其特征在于，对于每个喷射过程，在燃烧开始之后，主要部分的所述气态燃料被引入到所述燃烧室中。

39. 根据权利要求 37 所述的方法，其特征在于，还包括：控制作为发动机速度的函数的、起动所述喷射过程的正时，及在发动机速度增大时，增大用于开始所述喷射过程的正时的上死点之前的曲柄角度的数量。

40. 根据权利要求 2 所述的方法，其特征在于，在选择所述第三工作模式时，所述方法还包括，控制喷射正时和命令的幅度中的至少一个，从而

引入参照发动机图表所确定的预定量燃料；及

在燃烧开始之后结束所述第二喷射过程。

41. 根据权利要求 40 所述的方法，其特征在于，对于每个燃烧循环，在燃烧开始之后，主要部分的所述气态燃料被引入到所述燃烧室中。

42. 根据权利要求 40 所述的方法，其特征在于，还包括：控制作为发动机速度函数的、开始所述第一喷射过程的正时，并且在发动机

速度增大时，增大用于开始所述第一喷射过程的正时的上死点之前的曲柄角度数量。

43.根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述点火装置包括套，该套限定出环绕所述点火器的点火室并且限制所述燃烧室和所述点火室之间的连通以流过多个开口，这些开口的至少一些被定向成朝向所述燃料喷射阀的所述喷嘴的总体方向，因此来自燃烧室中的所述气态燃料和氧中的一些可以流入到所述点火室中以形成可燃的混合气，这些混合气借助所述点火器可以点燃，在点火之后，所述套允许在所述点火室内压力升高，因此燃烧的燃料空气混合气可以从所述点火室推进到所述燃烧室中以点燃气态燃料。

44.根据权利要求 43 所述的方法，其特征在于，借助从所述燃料喷射阀释放到所述燃烧室中的多个燃料喷雾束，把所述气态燃料引入到所述燃烧室中，及所述方法还包括：把所述燃料喷雾束中的一个、称为点火喷雾束导向到所述套的表面上的撞击位置上，该套包围所述点火器，因此在所述点火喷雾束离开它的相应燃料喷射开口时，所述气态燃料的主要部分沿着喷雾束的方向流向所述撞击位置，该喷雾束的方向被定向成离开垂直于这样平面的轴线小于或者等于 25 度，该平面在所述撞击位置上与所述套相切，该撞击位置靠近所述多个开口中的至少一个，因此来自所述点火燃料喷雾束的所述气态燃料中的一些流过所述至少一个开口并且在所述点火室内与空气相混合。

45.根据权利要求 44 所述的方法，其特征在于，还包括，把所述点火喷雾束导向到撞击位置上，该撞击位置位于所述多个开口中的两个之间，位于所述两个开口的中心之间的空间是 2－3 毫米。

46.一种以可燃气态燃料为燃料的内燃机，所述发动机包括：

至少一个燃烧室，由气缸、在所述气缸内可往复运动的活塞和盖

住所述气缸的端部的缸盖限定出；

点火装置，其一端设置在所述燃烧室内，所述点火装置包括：点火器，该点火器可以被加热以提供热表面；及套，它包围所述点火器，所述套在所述点火器和所述套之间限定出屏蔽空间；

燃料喷射阀，它设置在所述燃烧室内，所述燃料喷射阀可以被操纵来以多个燃料喷雾束把所述可燃气态燃料引入到所述燃烧室内，每个喷雾束从多个燃料喷射开口中的一个中释放出来，其中所述多个燃料喷射开口中的一个被定向成使称为点火燃料喷雾束的燃料喷雾束向着所述套的表面上的撞击位置，因此在所述点火燃料喷雾束离开它的相应燃料喷射开口时，所述点火燃料喷雾束的主要部分沿着喷雾束方向进行流动，该喷雾束方向被定向成距离垂直于这样平面的轴线小于或者等于 25 度，该平面在所述撞击位置上与所述套相切；

至少两个进入开口，它们通过所述套来提供，每个开口具有与所述撞击位置相隔开 1 到 1.5 毫米的中心，所述进入开口把所述屏蔽空间连通到所述燃烧室中，因此，在所述点火燃料喷雾束撞击所述该撞击位置时，包括在所述点火燃料喷雾束中的一部分所述可燃气态燃料通过所述进入开口并且进入到所述屏蔽空间中；

排出开口，它通过所述套来提供，其中所述排出开口被定向成给来自所述屏蔽空间的燃烧燃料空气混合气进行导向并且使之被导向到靠近所述燃料喷射阀的所述多个燃料喷雾束中；及

其中，所述套限制所述屏蔽空间和所述燃烧室之间的流动，因此所述可燃气态燃料在所述屏蔽空间内的燃烧产生了大于所述燃烧室内压力的压力，所述压力足够大以致促使所述燃烧的燃料空气混合气进入到所述燃烧室中并且与所述多个燃料喷雾束相接触。

把气态燃料喷射到内燃机中的方法

技术领域

本发明涉及一种把气态燃料直接喷射到内燃机的燃烧室中的方法。气态燃料在这里被定义成在大气压力和大气温度下处于气相的燃料。更加具体地说，本方法涉及不同预定工作模式的不同气态燃料喷射策略的选择，因此引入到燃烧室中的燃料的正时、定量和质量流动速度作为发动机速度和发动机负荷的函数得到控制。

背景技术

超过一个世纪以来，供给液态燃料的内燃机被用来产生功率和驱动机器。从开始，内燃机进行了许多改进从而变得更加有效率、更加有效力和/更加少污染。为了有助于这些改进，燃料性能和质量也已得到改进，并且替换燃料如甲醇和其它醇基燃料也被认为有助于减小有害排放。但是，与这些液态燃料相比，相同量的可燃气态燃料如具有相同能量的甲烷、丙烷、丁烷、氢、天然气和这些燃料的混合物可以被燃烧以产生相同的功率，同时产生更少的、呈微粒和导致温室效应的气体形状的有害排放。

但是，在传统内燃机中用一些气态燃料来取代液态燃料的问题是，它们通常不能与液态燃料一样容易地被点燃或者以与液态燃料相同的速度点燃。还具有许多其它不同之处，在气态燃料取代液态燃料时，产生了这些不同之处。例如，燃烧策略可以不同以解决与气态燃料有关的更长点火延迟，或者可以需要较长的时间来把气态燃料喷射到发

动机中。此外，把燃料引入发动机中的燃料供给系统和方法典型地需要专用于处理气态燃料的设备。此外，所选择的燃烧策略可以支配燃烧室的不同几何形状。相应地，在没有明显改进的的情况下，适合于液态燃料发动机的设计可能不适合于气态燃料发动机，而这种改进可以影响商业生存能力。

利用具有均匀混合气形成、火花点火和节流控制的奥托循环，目前用在商业机动车中的气态燃料发动机进行工作，这些发动机主要来自改进的狄塞尔循环发动机中，因为商业机动车需要使用寿命、功率和扭矩。例如，通过改进狄塞尔循环发动机所得到的混合气形成过程和使用火花点火是这样的方面，即它们需要各自改进进气系统和缸盖。改进过的燃烧过程也需要改进的、活塞中的燃烧室凹腔。发动机制造商常常努力地使为气态燃料工作所改进的发动机零件数目尽可能地保持较小。这是一种限制额外制造费用的努力以使发动机适合使用气态燃料工作，如果可能的话，同时保持耐久性和较长的使用寿命，而传统燃料发动机的操纵者已习惯于它们的商业机动车的这种耐久性和较长使用寿命。

对于气态燃料内燃机，主要燃烧过程中的一个与理想配比的燃料空气混合气一起结合三元催化转换器进行工作以减小排放。初始时，商业机动车的气态燃料发动机的要求以较小排放特性的愿望为基础，效率和燃料消耗特性是次要考虑因素。气态燃料的混合物典型地通过气态燃料混合器来产生，该混合器布置在具有电子控制气态燃料供给的进气系统的中心。最近的气态燃料系统被转换成每个气缸的进气门前部的多点喷射，从而提高燃料的均匀分布并且在非静止发动机工作期间保持理想配比的混合物。为了保持理想配比（$\lambda=1$）的燃料空气混合物，因此可以采用在汽油机中所公知的闭环空气/燃料比率控制。

压缩比通常被限制成 11：1 到 11.5：1 的值，从而确保足够的安全保险系数以防止敲缸。

具有理想配比控制的非增压发动机所能实现的性能至少比自然进气的液态燃料狄塞尔发动机的性能低 5%，它由发动机所吸入的、减小的空气量所产生的，它由把气态燃料引入到进气管中所导致。与今天的增压液态燃料狄塞尔循环发动机相比，考虑到与奥托循环发动机有关的更高热负荷和敲缸极限的效果，气态燃料奥托循环发动机产生了高达 15%的更小功率。这种功率损失已经考虑了，使用高达 15%的 EGR 率的废气再循环可以减小热负荷。补偿奥托循环发动机的低性能的实际方式是提高排量。

以理想配比进行控制的气态燃料发动机的燃料经济性的特性在于，与相对等的柴油机相比，其能量消耗在固定 13 模式实验中高 15－20%。在经常工作在低负荷下时，该低负荷典型地用于在城市中进行工作的公共汽车，已发现节流控制是造成大于 40%的燃料消耗增大的原因。

与今天的液态燃料狄塞尔循环发动机相比，借助采用稀混合气发动机原理，可以明显地减小以理想配比控制的气态燃料发动机的功率和燃料经济性的缺点。混合气形成常常发生在电子控制的燃料空气混合器的涡轮增压器的下游处，该混合器设置在进气系统的中央处。对于 11：1 到 11.5：1 的压缩比，稀混合气发动机通常具有与以理想配比进行控制的发动机相类似的燃烧室几何形状。由于更稀的天然气燃料－空气混合气导致燃烧速度强烈减小，因此合适地调整例如挤流是需要的或者是理想的，从而削弱具有相应较高的碳氢化合物排放的延长燃烧过程。借助今天的稀混合气发动机所能得到的空气比率不大于大发动机负荷的 $\lambda = 1.5$，从而使得燃烧速度可以更高。在小发动机负

荷时，燃烧温度更低，并且在稀混合气上进行工作的能力因此被限制到 1.1 到 1.3 的 λ 值上。

由于稀混合气发动机零件上的热应力小于以理想配比进行控制的气态燃料发动机，因此可以明显地提高升压，因此与进气冷却（charge-air cooling）相结合，可以实现高达 14bar 的有效平均压力。扭矩范围在很大程度上与大量商业上可以得到的液态燃料狄塞尔循环发动机相对应。但是，与欧洲 3 型液态燃料狄塞尔循环发动机所得到的功率大小相比，稀混合气发动机仍然可以遭受明显的功率缺点。

由于使今天的稀混合气发动机工作在甚至更稀的混合气上的能力被限制到 1.2 到 1.4 的 λ 值上，尤其在较低的局部负荷范围内更是如此，因为与传统的液态燃料相比天然气的燃烧速度较慢，这些发动机也需要节流控制。相应地，ECE R49 排放实验确定了燃料消耗率，根据发动机的设计，这些燃料消耗率与相对等的液态燃料狄塞尔循环发动机相比大得超过 15%。例如，在每天的城市公共汽车的工作期间，这导致燃料消耗值增加了高达 30%，因为在发动机工作在怠速或者低负荷条件下时工作时间的比例增大了。

旨在满足 2005 年生效的新欧洲 4 排放标准的天然气发动机的稀混合气原理被期望的特征在于，进一步发展现有的稀混合气发动机原理，其旨在扩宽稀混合气工作的限制，以使减小的 NOx 排放值小于 3.5g/kWh 的极限。

出于这个目的，开发了燃烧过程，这些燃烧过程的特征在于具有更加强烈的缸充气运动，以在靠近全负荷的工作条件下补偿强烈减小的、具有高达 1.6 的相对空气/燃料比率的非常稀的混合气的燃烧速度。这种稀混合气发动机具有燃烧过程，这些燃烧过程提高了运转在稀混合气上的能力，这种发动机还设置有废气涡轮增压和中冷。根据这种

设计，压缩比为 11.7：1 到 13：1。假设位于催化转化器上游处的碳氢化合物值为大约 2.9g/kWh，这些设计在 ECE49 排放实验中应该可以实现 1.5 到 2g/kWh 的 NOx 值。

由于压缩比较高并且在全负荷下混合气较稀，因此最大发动机效率可以提高到高达 40%的值。因此，在 ECE R49 的实验循环中，燃料消耗值应该只比为欧洲 4 排放标准所设计的未来液态燃料狄塞尔循环发动机高 5%到 15%。根据涡轮增压的设计，可以实现的平均压力可以达到 14bar 到 18bbar 的最大有效平均压力。

除了均匀稀混合气过程的区域的发展之外，目前努力的方向是高压气态燃料直接喷射到未节流的发动机的燃烧室中的过程。这种发动机采用了与用在液态燃料狄塞尔循环发动机相类似的压缩比，因为敲缸不是问题。例如，对于这种发动机，可以采用 16：1 到 18：1 的压缩比。这个方法的优点在于，通过气态燃料发动机可以实现的排放水平较低，并且明显地提高了效率水平，而这种效率水平在正常情况下只与液态燃料狄塞尔循环发动机相联系在一起。

美国专利No.5329908 公开了一种用于气态燃料发动机的压缩天然气喷射系统。燃料喷射喷嘴被操纵成，在喷射过程期间，气态燃料作为云状物通过在喷射过程期间所形成的环形排出开口扩散到燃烧室凹腔中。在这个过程期间，部分云状物与火花塞产生接触，燃烧室内的燃料空气混合气在火花塞处被点燃。所描述的这些实施例中的一个使用了恒压气体供给，及传统的引火塞用作火花塞。描述了一种燃料供给装置，该供给装置用来确保气态燃料可以通过这样的压力供给到燃料喷射阀中，即该压力足够大以致在活塞处于上死点附近时可以把燃料引入到燃烧室中。这种发动机以高效率模式进行工作，即它可以实现与液态燃料狄塞尔循环发动机相同的效率。但是，用在柴油机中的

传统引火塞被设计来只在起动期间提供点火帮助，因为柴油一旦在发动机运转时在正常情况下存在于柴油机中的压力和温度下容易自燃。由于气态燃料如天然气不能如柴油那样容易自燃，因此在这种布置中需要火花塞来连续地提供点火帮助以开始燃烧。连续地驱动传统引火塞（它只设计来在起动期间进行短暂使用）可以导致早期故障。实验表明，引火塞使用寿命的长度随着工作温度的增大而通常减小了，且不能依赖传统引火塞提供在这样温度下连续驱动的长久性，即该温度是气态燃料内燃机的操纵者期望需要的。

美国专利No.4721081涉及一种具有热屏蔽性涂层和点火催化剂的引火塞罩，该罩的目的是延长用来点燃不能自燃的燃料的引火塞的使用寿命。在'081 专利所提供的背景技术讨论中，可以注意到，提供由金属或者陶瓷形成的、沿着圆周方向包围引火塞长度的保护管罩是公知的。'801 专利还公开了，借助给该引火塞喷涂难熔的金属氧化物来保护硅氮引火塞并且使引火塞设置有燃烧促进催化剂因此引火塞温度可以得到减小也是公知的。。'801 专利所引入的改进包括罩，该罩具有倾斜的开口端，该开口端使引火塞沿着燃料喷射器的方向露出，同时沿着进气门的方向提供了实心的物理隔板。'801还公开了用陶瓷难熔的材料如金属氧化物来喷涂罩的内部和外部，该材料用作热障，因此该罩减小了引火塞上的进入气体的冷却效果并且还减少了引火塞所需要的电力以使表面温度保持适合于维持较好的燃烧。根据'801 专利，为了进一步减小所需要的引火塞温度并且延伸引火塞的使用寿命，因此燃烧催化剂可以被合并到涂层中。

需要一种这样的气态燃料内燃机，即该内燃机可以与相当的液态燃料狄塞尔循环发动机的性能、效率、可靠性和使用寿命相配，同时产生少量的有害排放如颗粒物质和氮氧化物。这种发动机在改善空气

质量，尤其在这样的重度污染区域扮演主要角度，即在这些区域中，目前集中使用液态燃料狄塞尔循环发动机的，并且可以方便地得到气态燃料如天然气。

发明内容

提供一种把气态燃料喷射到未节流的、高压缩比的发动机的燃烧室中的方法。例如，在压缩比为 16：1 到 18：1 的发动机中，以 200bar 到 300bar 的高压喷射气态燃料，其中在接近压缩冲程结束时开始燃料喷射。更高的压缩比也是可能的。燃料喷射过程的时间可以是这样的，即在做功冲程开始期间燃料连续地喷射。在燃烧开始之后喷射过程连续进行是理想的。该方法导致形成不均匀的燃料空气混合气，这与在柴油机中所发现的相类似。为了实现这个方法，高速气态燃料喷射阀是理想的，喷射阀可以控制成允许中间质量流动速度为 0 到最大流量，并且可以被操纵来在喷射过程期间在不同流动速度之间进行调节。这种喷射阀被采用来把气态燃料喷射到燃烧室中，因此命令的燃料喷射脉冲的形状可以得到控制。气缸、在气缸内可以进行往复运动的活塞和盖住气缸一端的缸盖限定出燃烧室。活塞杆把活塞连接到曲轴上，因此曲轴借助活塞的往复运动可以旋转。借助形成在活塞顶部（它是面对燃烧室的活塞端表面）中的活塞凹处或者凹腔进一步部分地限制出燃烧室。使用本方法和使用与等同柴油机相同的压缩比来工作，通过使燃烧室形成为使它主要与传统柴油机中所发现的燃烧室的几何形状相对应，可以减小天然气工作所需要的改进并且减小了制造费用。

由于气态燃料如天然气在内燃机中可靠地进行自燃的能力不足，因此在本方法的实施例中，借助采用点火装置来确保燃料空气混合气的点火，该点火装置包括点火器，该点火器可以借助电加热元件来加

热。更加具体地说，该方法还包括：

选择至少两个预定工作模式中的一个以作为发动机负荷和发动机速度的函数，其中在命令发动机工作在与低负荷和低速度范围相对应的第一区域内时，选择第一工作模式；及，在命令发动机工作在不同于第一区域的第二区域内时，选择第二工作模式，与第一区域相比，第二区域与更多负荷范围和更大速度范围中的至少一个相对应；

在第一工作模式中，在每个燃烧循环的单个喷射过程中引入气态燃料，命令喷射阀以恒定幅度 A1 打开；及

在第二工作模式中，在每个燃烧循环的单个喷射过程中引入气态燃料，并且命令喷射阀以恒定幅度 A2 开始一个预定时间，及然后命令喷射阀打开到幅度 A3，其中幅度 A3 大于幅度 A2。

该方法还包括：在命令发动机在不同于第二区域的第三区域内进行工作时，选择第三工作模式。与第二区域相比，第三区域与较大负荷范围和较大速度范围中的至少一个相对应。在第三工作模式中，在两个独立的喷射过程中引入气态燃料，及，命令喷射阀打开到第一喷射过程的幅度 A4 和第二喷射过程的幅度 A5。

在选择第一工作模式时，喷射过程的持续时间影响排放如一氧化碳和 NOx 及其它工作特性如燃烧稳定性和热效率。在选择第一工作模式时，已发现大约 3 到大约 5 毫秒的喷射过程的持续时间是有效的。相信，与在喷射过程的持续时间相对较短时所产生的预混合燃烧模式相比，连续明显超过点火开始的喷射持续时间所鼓励的扩散燃烧模式可以实现更加理想的燃烧特性。在第一区域中，对于第一工作模式，在发动机工作在怠速或者接近怠速时，采用大约 5 毫秒的喷射过程的持续时间，及喷射过程的持续时间的改变作为发动机速度的函数来进行，其中当发动机速度从怠速开始增大时，喷射过程的持续时间减少

且幅度增大。

在选择第二工作模式且发动机工作在稳定状态条件下时，该方法可以包括：借助把发动机进气系统中的升压限制成小于 120kPag、更加优选为小于 65kPag，减少碳氢化合物和 NOx 的排放。

日本 G13 排放证明实验需要发动机排放在 13 种发动机工作条件下进行实验，每个条件称为模式。这个实验的“模式 6”与发动机工作在本方法的第二工作模式时相对应，其中在发动机速度是发动机产生最大功率的速度的 60%时发动机以 40%的最大发动机扭矩的扭矩进行工作。在模式 6 中所收集到的实验数据表明，在这个工作条件下，升压在把空气供给到发动机燃烧室中的进气系统中受到限制，因此空燃比（λ）小于 2.7。

在选择第三工作模式并且发动机工作在稳定状态条件下时，该方法还包括：命令发动机进气系统中的升压为大约 100 和大约 120kPag 之间，更加优选为大约 100kPag。对于升压被实验过的发动机，在第三工作模式中，这些压力通常与命令 λ 为大约 1.4 到大约 1.5、更加优选为大约 1.5 相对应。

在选择第一或者第二工作模式中的一个时，该方法还包括：控制喷射正时和命令的幅度中的至少一个以引入参照发动机图表所确定的预定量燃料并且在开始燃烧之后结束喷射过程。该方法还可以包括：控制作为发动机速度的函数的用于起动喷射过程的正时，及在发动机速度增大时，增大用于开始喷射过程的正时的上死点之前的曲柄角度的数量。

在选择第三工作模式时，该方法还包括，控制喷射正时和命令的幅度中的至少一个，以引入参照发动机图表（engine map）所确定的预定量燃料并且在开始燃烧之后结束第二喷射过程。该方法还可以包

括：控制作为发动机速度函数的开始第一喷射过程的正时，并且在发动机速度增大时，增大用于开始第一喷射过程的正时的上死点之前的曲柄角度数量。

在相关的发动机工作模式中，对于每个燃烧循环，该方法优选地包括在燃烧开始之后把大部分的气态燃料引入到燃烧室中。

供给有可燃的气态燃料的内燃机被提供来实现本方法。该发动机包括：

至少一个燃烧室，它由气缸、在气缸内可往复运动的活塞和盖住气缸端部的缸盖限定出；

点火装置，它的一端设置在燃烧室内，点火装置包括：点火器，该点火器可以被加热以提供热表面；及套，它包围点火器，该套在点火器和套之间限定出屏蔽空间；

燃料喷射阀，它设置在燃烧室内，燃料喷射阀可以被操纵来以多个燃料喷雾束把可燃气态燃料引入到燃烧室内，每个喷雾束从多个燃料喷射开口中的一个中释放出来，其中该多个燃料喷射开口中的一个被定向成使燃料喷雾束、称为点火燃料喷雾束向着套的表面上的撞击位置，因此在点火燃料喷雾束离开它的相应燃料喷射开口时，点火燃料喷雾束的主要部分沿着喷雾束方向进行流动，该喷雾束方向被定向成距离垂直于这样平面的轴线小于或者等于 25 度，即该平面在撞击位置上与套相切；

至少两个进入开口，它们通过套来提供，每个开口具有与撞击位置相隔开 1 到 1.5 毫米的中心，进入开口把屏蔽空间连通到燃烧室中，因此，在点火燃料喷雾束撞击该撞击位置时，包括在点火燃料喷雾束中的一部分可燃气态燃料通过进入开口并且进入到屏蔽空间中；

排出开口，它通过套来提供，其中排出开口被定向成给来自屏蔽

空间的燃烧燃料空气混合气进行导向并且使之被导向到靠近燃料喷射阀的多个燃料喷雾束中；及

套限制屏蔽空间和燃烧室之间的流动，因此可燃气态燃料在屏蔽空间内的燃烧产生了大于燃烧室内压力的压力，该压力足够大以致促使燃烧的燃料空气混合气进入到燃烧室中并且与该多个燃料喷雾束相接触。

实验表明，使具有短自由长度的点火喷雾束的点火装置和典型为自然内燃机（柴油机）的高压比相结合的本发动机设计可以实现内燃机的运行独立、可靠和低排放的工作。此外，与公知结构相比，包括设置在点火器周围以在点火器附近提供屏蔽空间的套的点火装置可以被采用来大大地减小要供给到点火器中的加热功率。此外，实验数据表明，与在所有发动机工作区域内对于相关的工作条件使用相同喷射策略相比，为不同预定工作模式选择不同的气态燃料喷射策略可以产生更好的整体发动机工作特性。此外，在喷射策略施加到每个工作模式的情况下，通过控制喷射参数和燃烧室内的条件可以进行改进以减小排放并且增大热效率和燃烧稳定性，其中该喷射参数和条件包括喷射过程的开始和结束的正时、在喷射过程期间燃料喷射阀的命令的幅度和升压。

点火器被加热，如借助电加热引火塞来加热。但是，与传统引火塞不同的是，实现本方法的引火塞应该设计成在与本发动机有关的工作条件下可以连续地工作。点火器和/或套可以包括陶瓷表面。此外，燃烧催化剂可以沉积在点火器或者套上以降低工作温度从而进行稳定燃烧。

附图说明

参照附图可以更好地理解本方法，除了示出了方法和表明它的优点的实验数据的附图之外，这些附图还示出了用来执行本方法的优选装置。

图 1 是气态燃料喷射喷嘴和设置在燃烧室内的点火装置的侧视图；

图 2 是点火装置侧部的更加详细的放大视图，其中该点火装置被定向成所示出的孔开口面对喷射阀，点火喷雾束来自该开口。在中心线的右侧上示出剖视图以更好地示出点火器在套内的位置；

图 3 是从燃烧室底部看去的缸盖的平面视图，其中好像活塞被拆下了，它示出了燃料喷射阀相对于点火装置的位置；

图 4 是用图 3 所示的剖面线所示的部分剖视图。图 4 的部分剖视图示出了燃料喷雾束的中心线，这些中心线表示用来把燃料喷雾束引导到点火装置并且引入到燃烧室内的喷射角度。

图 4A 是燃料喷射阀喷嘴和点火装置的放大视图，它示出了没有其它燃料喷雾束的点火燃料喷雾束的清楚视图；

图 5 是与气态燃料喷射阀有关的燃料供给系统和用于燃料供给系统和燃料喷射阀的控制器的整体示意图；

图 6A 和 6B 是曲线图，它们示出了相对于发动机速度所作出的发动机负荷，它限定出一些区域，在这些区域中，根据本方法选择不同工作模式；

图 7A 到通过 7C 是曲线图，它们示出了用来在一个喷射过程中把气态燃料引入到燃烧室内的不同工作模式下控制燃料喷射阀驱动以控制质量流量速度的许多优选指令脉冲；

图 8 是实验数据的曲线，它示出了改变工作在怠速条件下的发动机的喷射过程的持续时间的效果；

图 9 是曲线图，它示出了碳氢化合物排放与 NOx 排放，具有不同

的线与不同命令的喷射脉冲形状所收集到的数据相对应，喷射过程开始的正时可以改变以沿着每个点划线得到不同点。该曲线图示出了指令脉冲的形状对碳氢化合物和 NOx 的排放具有明显影响；

图 10 是另一个曲线图，它示出了碳氢化合物排放与 NOx 排放，但是在这个例子中，为每个数据集采用相同形状的指令脉冲。此外，沿着点划线的不同点示出了改变开始每个喷射过程的正时的效果。不同线与升压的改变相对应。该曲线图示出了降低升压可产生低排放；

图 11 是曲线图，它结合了燃料喷射脉冲的命令的形状、放热率和缸内压力（所有这些都是相对于在两个独立喷射脉冲中所喷射的燃料的曲柄角度来画出的）的图；及

图 12 是曲线图，它结合了燃料喷射脉冲的命令的形状、放热率和缸内压力（所有这些都是相对于在连续阶梯喷射脉冲中所喷射的燃料的曲柄角度来画出的）的图。

具体实施方式

图 1 是气态燃料内燃机的部分横剖视图，它示出了燃烧室的例子，该燃烧室可以用来实现本方法。借助气缸 10、在气缸 10 内可往复运动的活塞 12 和缸盖 14 来限定出所示出的燃烧室，该缸盖 14 盖住气缸 10 的顶端。燃料喷射阀 20 和点火装置 30 安装在缸盖 14 中，而相应的顶部延伸到燃烧室中。该内燃机可以是具有各种理想数目的气缸和气缸工作容积的直列式或者 V 形设计。

活塞 12 基本上与用在类似柴油机中的活塞相同，典型地包括凹腔 13。出于图示目的，只示出了凹腔 13 的简单形状，但是本领域普通技术人员知道，可以采用其它形状。例如，如图 4 所示那样，较小的发动机可以使用具有尖头（pip）的燃烧室，以促进紊流从而改善混合。

在燃料喷射过程期间，借助气缸进气内的紊流和涡流也有助于在燃烧室内快速形成燃料－空气混合气。

燃料喷射阀20的顶部包括具有多个燃料喷射口的气态燃料喷射喷嘴，气态燃料通过这些喷口可以被直接地引入到燃烧室内。至少一个燃料喷射口瞄准点火装置30的撞击点。在所示出的实施例中，燃料喷射阀20与燃烧室凹腔13的中心线对准并且优选地包括四个到十二个燃料喷射口，来自这些喷射口的燃料喷雾束22的外形在图1中用虚线来表示。这些燃料喷射口中的一个被瞄准从而把点火燃料喷雾束引导到点火装置30的撞击位置上。

参照图2的放大的、更加详细的视图，点火装置30包括点火器32和套34，该套34绕着点火器32进行设置以在点火器32和套34的内表面之间提供屏蔽空间。在所示出的实施例中，屏蔽空间包括位于点火器32和套34的内壁之间的环形空间和位于点火器32的自由端和套34的拱顶形封闭端之间的空间。与正方形或者平坦端相比，拱顶形端是优选的，因为拱顶形状提供了更好的结构强度，同时减小了点火装置30伸入到燃烧室内的大小。标号33表示图2中的屏蔽空间。撞击位置是位于套34的外表面上的位置，该位置靠近通过套34所提供的至少一个进入开口36。进入开口36和排出开口38允许在屏蔽空间33和燃烧室之间形成流体连通。在图2所示的实施例中，具有两个进入开口36。进入开口36相对于撞击位置的打开区域和位置被设计成允许气态燃料量进入屏蔽空间33，该空间33足够点燃和使基本上燃烧室内的所有气态燃料进行点火。实验已表明，具有两个进入开口36（每个开口的直径为0.8到1.2毫米）的所示出的布置是有效的。进行使用两个进入开口和两个排出开口中的每一个的孔径为0.55毫米的实验，发动机可以进行工作，但是点火装置的有效性较小。可以期望的是，

借助增大开口的数目可以提高较小孔的效力。早期实验结果表明，位于两个 1.2 毫米直径进入开口的中心线之间的 3 毫米空间产生了较好的燃烧，同时碳氢化合物和 NOx 的排放较小。最近的实验结果表明，对于两个 1.2 毫米直径的进入开口，通过中心对中心的孔空间可以实现较好的燃烧和低排放，该孔空间为 2 到 3 毫米，而撞击位置对中于这些进入开口之间。计算机流体动态分析可以用来进一步研究进入开口尺寸大小、位置和数目。目前可以知道，太小的进气开口 36 不能允许足够量的燃料进入到屏蔽空间 33 中，而太大的进入开口可以导致屏蔽空间 33 和燃烧室之间的流量太大，并且这个结果包括：过度冷却点火器，燃料混合气太浓，及减小了屏蔽空间 33 内所形成的压力，从而使得燃烧的燃料空气混合气外延穿过较慢或者较少，该燃烧的燃料空气混合气被推进到燃烧室内。

对于一些活塞凹腔设计，如采用了尖头的那一种，根据点火装置 30 伸入到燃烧室中多远，在与点火装置 30 相对的活塞凹腔中可以形成凹部，从而在发动机工作期间防止在它们之间接触。

对于采用了 4 孔（36 和 38）的、图 2 所示的套设计，在点火器的端部相对于进入开口 36 处于屏蔽空间 33 内的各种位置上的情况下测量性能。在点火器 32 的端部落入进入开口 36 的中心线的 3 毫米的范围时，可以得到更好的燃烧结果，及在点火器 32 的端部定位在进入开口 36 的中心线的 1 毫米内并且与进入开口 36 的中心线相齐平时可以得到最佳的结果，如图 2 所示那样。

图 3 是在活塞被拆下时从燃烧室内所看去的缸盖的平面视图。图 4 是燃烧室的例子的侧视图，该侧视图与图 3 的平面视图成对，并且沿着图 3 所示的切开线看去。在这个实施例中，与图 1 和 2 的类似元件相一致的元件用加上 100 的标号来表示。出于简单化，进气阀和排气

阀没有示出，但是在喷射阀 120 和点火装置 130 处于缸盖区域的中央区域的情况下，可以采用两个、三个和四个阀设计。

燃料喷射阀 120 包括具有燃料喷射开口 124 的喷嘴 121。燃料喷射开口 124A 被定向成把点火燃料喷雾束引向点火装置 130，该点火装置 130 向着喷嘴 121 倾斜。点火装置 130 在缸盖 114 内的位置被如此地选择，以致通过燃料喷射口 124A 所引入的点火燃料喷雾束具有 3 毫米到 8 毫米的自由喷雾束长度，或者根据燃烧室的尺寸大小具有燃烧室凹腔的直径 5%到 10%。如图 3 和 4 所示那样，为了有利于使点火燃料喷雾束 122A 与点火装置 130 相对准，因此使点火装置 130 的中心线与喷射阀 120 的中心线相交是有利的，但是这些中心线不必相交，只要燃料喷射开口 124A 的定向被定向成把点火燃料喷雾束 122A 引导到理想的撞击位置上就行。被引入到发动机中的燃料量依赖于工作条件如负荷，及负荷是否是静态还是动态（即改变）。实验结果已表明，在要求的条件下，位于燃料喷射开口和撞击位置之间的上述空间导致足够量的气态燃料进入到屏蔽空间 133 中以形成可燃的燃料空气混合气，该混合气与点火器产生接触。“足够量的气态燃料”在这里被定义为这样的燃料量，即该燃料量导致在屏蔽空间内形成可燃混合气，该可燃混合气可以燃烧以产生燃烧燃料空气混合气，该混合气可以离开屏蔽空间并且点燃包围燃料喷射阀喷嘴 121 的区域内的可燃燃料空气混合气。参照图 4，阴影区域 110 是这样的区域，即该区域包围燃料喷射阀喷嘴 121，燃烧的可燃燃料空气混合气被导向该喷嘴 121。即，排出开口 138 被这样地定向，即从屏蔽空间 133 中所推动的、燃烧的可燃燃料空气混合气点燃区域 110 内的燃料。

如图 4 所示那样，燃料喷射阀 120 和点火装置 130 安装在缸盖 114 上并且从那里伸出。所示出的点火器 132 设置在点火装置 130 的套 134

内。

轴线 122 示出了这样的方向，即燃料喷雾束通过燃料喷射开口 124 引入到燃烧室中，从而借助例子来证明对于所示出的燃烧室几何形状而言该喷射角度合适。如本领域普通技术人员所公知的那样，以这种方式引入到燃烧室内的气态燃料从轴线 122 中分散，同时在燃料从喷嘴 121 进一步传播时产生更大的分散。轴线 122 被用来只示出燃料喷雾束的中心轴线的喷射角度。燃料喷射开口 124 可以被定向成提供 10 度到 25 度的喷射角度，该喷射角度被选择来使气态燃料均匀地分布在燃烧室内，而该所选择的喷射角度依赖于发动机燃烧室的几何形状。所选择的喷射角度被选择成使燃料喷雾束最佳化，同时使燃料喷雾束瞄准燃烧室内的紊流区域。为了改善燃料分布，更长的燃料喷雾束长度通常是优选的。

图 4A 是喷嘴 121 和点火装置 130 的放大视图，但是没有图 4 所示的轴线 122 以清楚地看到点火燃料喷雾束 122A。与其它燃料喷雾束相比，点火燃料喷雾束 122A 可以具有不同的喷射角度。与其它燃料喷射开口相比，通过它引入点火燃料喷雾束的喷射开口也可以设置在喷嘴 121 的下部适当位置上。借助给点火燃料喷雾束 122A 的方向进行定向以致点火燃料喷雾束 122A 被引向套表面上的撞击位置，因此点火燃料喷雾束的主要部分沿着喷雾束方向进行流动所需要的角度来确定点火燃料喷雾束 122A 的喷射角度，其中该喷雾束方向相对垂直于这样平面的轴线小于或者等于 25 度，即该平面与撞击位置处的套相切。出于这里的描述目的，点火燃料喷雾束的“主要部分”被定义成，在发动机工作期间每个喷射过程使来自点火喷雾束的燃料量进入到屏蔽空间中时，沿着喷雾束方向进行流动，该喷雾束方向被定向成相对垂直于这样平面的轴线小于或者等于 25 度，即该平面与位于撞击位置上的套相

切，该屏蔽空间足以形成可以燃烧以把燃烧的燃料空气混合物推进到燃烧室中的可燃混合物，在燃烧室中，它点燃包括燃料喷射阀的区域内的可燃混合气。

为了在上死点附近把气态燃料直接引入到燃烧室内，因此气态燃料以高压被供给到燃料喷射阀 120 中。例如，以 200 到 300bar 的压力来供给气态燃料，这种压力可以导致气态燃料以较高的速度被喷射到燃烧室中。借助减小与点火器相接触的燃料的速度来改善气态燃料的点火。在气态燃料被引导到套 134 中以致在它撞击表面时燃料沿着垂直于套 134 表面的方向进行流动时，燃料撞击套表面所产生的动量的改变被最大化，因此燃料速度的减小量也被最大化。相应地，在最优选的实施例中，点火燃料喷雾束被定向成使燃料的主要部分沿着垂直于这样平面的方向进行流动，即该平面与位于撞击位置上的套的表面相切（如图 4A 所示那样）。但是，在一些情况下，发动机燃烧室几何形状或者缸盖设计所施加的限制可以支配点火燃料喷雾束的不太优选的定向，一些实验已表明，定向即点火燃料喷雾束方向相对垂直对准小于或者等于 25 度，也可以产生合适的工作实施例，但是这不是优选的。

参照图 4A，相信在它向着撞击位置进行运动时，点火燃料喷雾束 122A 夹带一些空气，但是它也与空气相混合，在发动机活塞进气冲程和压缩冲程期间，该空气流到屏蔽空间 133 中。还相信，把点火燃料喷雾束 122A 引向撞击位置而不是直接瞄准进入开口 136，可以改善混合和减小冷却效果。

在屏蔽空间 133 内形成可燃燃料空气混合气时，它接触点火器的热表面并且被点燃。作为屏蔽空间 133 和燃烧室之间的限制流动和燃烧的结果，屏蔽空间 133 内的压力快速增大。升高的压力通过至少一

个排出开口 138 把燃烧的燃料空气混合气推进到燃烧室内。在所示出的实施例中，在图 2 和图 4A 中各自具有两个排出开口 28 和 138，其中在图 4A 中只示出了套的一半。

这些排出开口与这些进入开口分开，因此这些排出开口可以被定向成使燃烧的燃料空气混合气瞄准燃烧室的区域 110，从而有效地燃烧作为喷射过程的结果所形成的可燃的燃料空气混合气。与进入开口相比，这些排出开口与撞击位置隔开得更远。在优选的工作条件下，喷射过程连续地进行，同时燃烧的燃料空气混合气从屏蔽空间 33、133 中出来，并且相信，排出开口与撞击位置相隔开，可以减小从点火装置 30、130 中出来的、燃烧的燃料空气混合气和被引向点火装置 30、130 上的撞击位置上的点火燃料喷雾束 22a、122A 之间的干扰。减小这种干扰有助于产生非常短的点火延迟，而点火延迟对内燃机的工作特性具有积极影响。与液态燃料相比较，根据燃料压力和燃料喷射阀设计，为了根据能量喷射相同量的燃料，因此需要具有较长时间的燃料喷射过程来喷射气态燃料，因为它具有较小的密度。相应地，进入和排出开口相对于撞击位置的布置是重要的，因为在燃烧开始之后燃料喷射阀 20、120 可以连续地把气态燃料喷射到燃烧室内，因为点火燃料喷雾束不会明显干扰通过排出开口所推进的燃烧的燃料空气混合气进行扩散。燃料喷射过程的时间较长在一些优选实施例中是有利的，因为燃烧的燃料空气混合气可以瞄准包围燃料喷射阀喷嘴 121 的区域 110，在该区域中，燃料进行喷射，这些燃料同时喷射到燃烧室内。在这些实施例中，在一个发动机循环中采用一个燃料喷射过程时，燃料质量流量速度可以得到控制，因此点火延迟可以短于相应喷射过程的持续时间。

如在所示实施例中所示的那样，这些排出开口定位在进入开口的

下面。在所示出的实施例中，撞击位置优选地与这些进入开口等距离并且可以是位于它们之间的中间位置或者是沿着点火装置 30、130 的中心轴线的其它位置，与排出开口相比，该其它位置更加靠近进入开口。

操纵气态燃料被直接喷射到燃烧室内的内燃机的方法在气态燃料喷射阀的上游处需要恒定高燃料压力。如果发动机用在机动车上，那么提供车载高压燃料供给系统是需要或者理想的。图 5 示出了具有以高压供给气态燃料的装置和控制气态燃料喷射阀 520 的工作的电子控制器的这种燃料系统的一个实施例。

参照图 5，它示出了所述燃料供给系统的示意图。借助压电或者磁致伸缩的驱动器可以直接驱动燃料喷射阀 520，该驱动器提供动力以移动阀件来打开和关闭该燃料喷射阀。在直接驱动的燃料喷射阀中，驱动器的指令运动产生了相应的阀件运动以打开或者关闭燃料喷射阀从而各自地开始或者结束喷射过程。可以命令这些驱动器快速地且精确地打开到位于关闭和完全打开位置之间的中间位置，从而控制喷射过程期间的质量流量速度，并且在每个燃烧循环期间允许进行一个以上的喷射过程。即，压电或者磁致伸缩的驱动器可以被控制成能够进行“速度修整”，该速度修整表示，可以控制在喷射脉冲期间由驱动器所产生的移动量大小以在燃料喷射脉冲期间调整通过燃料喷射阀的流动速度。

在图 5 的示意图中，示出了气态燃料供给系统的主要零件。共轨 550 是总管，它把高压气态燃料输送到多个燃料喷射阀中。在多缸内燃机中，为每个燃烧室设置一个气态燃料喷射阀，从而把气态燃料直接地喷射到每个燃烧室中。为了简化图 5 的示意图，因此只示出了一个燃料喷射阀 520。

关于燃料供给系统，及接着图 5 所提出的多缸发动机的例子，气态燃料喷射阀520通过共轨550供给有200到300bar的气态燃料压力，该共轨 550 把高压燃料供给到气态燃料喷射阀的每一个中。气态燃料被储存在燃料储存箱 552 内并且以与剩余在其中的气态燃料量相对应的压力被供给到燃料供给系统中。在燃料储存箱 552 被填充到最大容量时，被输送到燃料供给系统中的燃料的压力较高，及，在该箱被排空时，燃料储存箱 552 内的压力减小了。如果气态燃料储存箱 552 完全被排空，例如在压力为 200 到 300bar 的情况下，控制器 560 从压力传感器 562 中确定这个，并且在控制压缩机 554 和压力控制装置 556 从而以所需的压力把合适量的气态燃料供给到喷射阀时控制器 560 考虑发动机工作状态。当更多的气态燃料被移走并且压力相应地较低时，如压力传感器 562 所探测到的那样，在控制压缩机 554 和压力控制装置 556 时控制 560 将考虑这个。

所示出的燃料喷射阀具有带喷孔的喷嘴，该喷嘴是这样的喷嘴，即它通常与向内打开的针阀一起使用。本领域普通技术人员知道，向外打开的针阀也是合适的，并且在每一种情况下，燃料喷射阀的喷嘴优选地设置有用来把燃料喷雾束引导到燃烧室中和使这些燃料喷雾束中的一个瞄准点火装置的撞击位置的一些零件。

其它燃料供给系统也可以与燃料喷射阀 560 一起使用以实现本方法。例如，可以用包括低温储存箱、燃料泵、蒸发器和相关的压力控制装置的液化气态燃料供给系统来代替图 5 所示的压缩气态燃料供给系统。

图 6A 和 6B 是曲线图，它们示出了相对于发动机速度所标出的发动机负荷。在图 6A 中，这个图表所限定出的发动机工作范围被分成两个区域。区域 601 限定出低速和低负荷工作范围，而区域 602 限定出

与更大发动机负荷和/或发动机速度相对应的工作范围。根据本方法，在发动机工作在区域 601 内时，选择第一工作模式，及命令燃料喷射阀为每个燃料喷射过程的期间打开到恒定幅度，从而产生了指令脉冲的正方形或者矩形，如图 7A 所示的指令脉冲。在发动机工作在区域 602 内时，选择第二工作模式，及命令燃料喷射阀打开到恒定幅度一个预定时间，及然后在被命令关闭从而因此结束燃料喷射过程之前，命令燃料喷射阀打开到更大的幅度。在第二工作模式中，对于每个燃烧循环采用单一的连续燃料喷射过程，并且指令脉冲的形状的例子示出在图 7B 中。

图 6B 示出了相同方法，但是还包括第三工作模式，在命令发动机工作在第三区域 603 内时，选择该第三工作模式，其中第三区域 603 不同于第二区域。借助发动机速度和/或发动机负荷大于第二区域内的相同参数的工作条件来限定出第三区域 603。在第三工作模式中，对于每个燃烧过程，命令燃料喷射阀把气态燃料引入到两个独立的喷射过程中。可以命令燃料喷射阀打开到第一喷射过程的一个幅度和第二喷射过程的另一个幅度。第一和第二喷射过程的幅度可以相同或者不同，如图 7C 的图示例中的实线和虚线所示那样。为区域 601 所选择的工作模式对于图 6A 和 6B 来讲是相同的，并且工作模式对于区域 602 和 602' 来讲是相同的。

图 7A 到图 7C 的曲线图示出了用来控制燃料喷射阀以为一个燃烧循环把燃料引入到燃烧室中的指令脉冲的幅度。标记这些曲线图的垂直轴线的幅度表示不同类型驱动器的不同单位。例如，对于磁致伸缩的驱动器，幅度表示引导到线圈中以产生磁场的电流。在另一个例子中，对于压电驱动器，幅度表示施加到压电元件上的电压。阀针的运动通常与指令脉冲的幅度相关，在命令更大的幅度时引入更多燃料。

在图 6A 和 6B 的描述中，这些指令脉冲被描述成与不同工作模式有关，该不同工作模式与发动机特性曲线（engine map）中的区域所限定出的不同工作条件相对应，该发动机特性曲线示出了发动机负荷对发动机速度。在发动机特性曲线中不是采用单一的燃料喷射策略来控制正时和燃料喷射到燃烧室中的速度，而是发现，可以采用不同策略来实现更好的总体燃烧特性。此外，在公开的工作区域内，即采用了特殊燃料喷射策略，与这些指令脉冲中的每一个如喷射开始的正时、喷射过程的持续时间及幅度有关的许多变量作为发动机负荷和发动机速度的函数可以进行调整，以进一步改善发动机工作从而实现理想的结果，如减小排放，提高热效率及提高燃烧稳定性。

图 7A 是曲线图，它示出了正方形或者矩形指令脉冲。命令的幅度表示被送到燃料喷射阀的驱动器中的指令信号。表示阀件实际移动量对时间的线是倾斜的，因为，尽管阀件的运动非常快，但是它不是即时的。此外，对于命令的幅度，根据其它因素如也可以影响阀件的实际位置的缸内压力，阀件运动的实际幅度可以改变。图 7A 示出了指令脉冲的普通矩形，在发动机工作在区域 601 的稳定状态条件下并且选择第一工作模式时，该方法采用了这种指令脉冲。发动机控制器可以被校准以工作在具有恒定命令的幅度 711 的第一工作模式中，该恒定命令的幅度 711 由最小命令的幅度来确定，对于区域 601 内的相关工作条件而言，该最小命令的幅度可以在点火器周围形成可燃的燃料空气混合气。如果命令的幅度 711 保持不变，那么用来起动和结束喷射过程的正时可以被确定为区域 601 内的发动机速度的函数，而位于起动和结束喷射过程之间的时间限定出这样的时间，即当发动机速度从怠速进行增大时，该时间增大。

虚线 712 示出了，可以调整命令的脉冲的时间以改变喷射过程的

持续时间，因此如果命令的幅度 711 保持不变，那么借助改变喷射过程的持续时间，可以引入不同量的燃料。

在本方法的另一个实施例中，发动机控制器可以被校准以把命令的幅度 711 改变成每个工作条件的预定值，因此命令的幅度是最小值，对于第一工作模式所限定出的每个各自工作条件而言，该最小值环绕着点火器将形成可燃的燃料空气混合气。虚线 714 示出了，根据区域 601 内的工作条件，命令的幅度可以被改变成不同的预定值。

对于恒定的发动机速度而言，在选择第一工作状态时，位于起动和结束喷射过程之间的时间基本上是恒定的，而在发动机负荷增大时，命令的幅度增大，且在发动机负荷减小时，该命令的幅度减小。此外，借助例子，命令的幅度的改变量借助虚线 714 来表示。但是，如果在发动机工作在区域 601 内时幅度增大，那么在发动机速度从怠速开始增大时可以减小喷射过程的持续时间。

此外，用来起动图 7A 的、命令的脉冲的时间可以被预定为区域 601 内的工作条件的函数。一般地，在发动机工作在怠速情况下或者靠近怠速情况进行工作时，用来以第一工作模式起动喷射过程的正时是在上死点之前曲轴为 9 到 15 度曲柄角度时。

现在参照图 7B，它示出了具有第一阶梯的较低命令幅度 721 和第二阶梯的较高命令的幅度 722 的阶梯形指令脉冲。发动机控制器可以被校准，因此第一阶梯的命令的幅度 721 是最低的幅度，对于第二工作模式所限定出的工作条件，该最低的幅度环绕着点火器将形成可燃的燃料空气混合气；或者，对于每个工作条件，第一阶梯的该命令的幅度可以被预定和校准成最低的幅度，该最低的幅度环绕着点火器将形成可燃的燃料空气混合气。位于第一阶梯的幅度 721 上方的虚线表示，第一阶段的幅度作为发动机负荷和/或发动机速度的函数可以升

高。

第二阶梯的幅度 722 可以设置在喷射阀的最大可指令的幅度上或者设置成靠近该幅度。虚线 723、724 和 725 示出了，可以以许多方式来操纵区域 602、602' 所采用的指令脉冲的形状，从而改变燃料的质量大小，该燃料被引入到燃烧室内，该质量大小可以被预定为区域 601、601' 内的工作位置的位置的函数。虚线 723 示出了，喷射过程的持续时间和第二阶梯尤其可以被延伸。虚线 724 示出了，如果它不是已经在最大可指令的幅度上，那么第二阶梯的幅度可以增大。虚线 725 示出了，起动第二阶梯的正时可以对应于第一阶梯的时间的相应缩短而提前。

在下面所讨论的实验结果表明，与其它阶梯形指令脉冲相比，阶梯形指令脉冲的特殊操纵可以提供明显较好的结果。起动喷射过程的正时也影响燃烧特性和发动机性能，及，在预先确定的工作区域中的每一个中，用来起动每个喷射过程的预定的正时可以被分配到每个工作条件中。例如，在工作区域 602、602' 内，本方法包括，在上死点之前曲轴处于 11 到 36 曲柄角度时，命令喷射阀开始喷射过程。

进行发动机工作在模式 6 的情况下的实验，以确定改变参数如开始喷射过程的正时和第一和第二阶梯的持续时间的效果。可以为每个工作条件进行类似实验，以限定出可以用来校准发动机控制器的预定参数。在模式 6 上，许多重要参数包括：（i）在上死点之前曲轴位于 22 到 30 曲柄角度时，命令喷射过程开始；（ii）命令大约 2.4 毫秒到大约 3.7 毫秒的第一阶梯的持续时间，更加优选为大约 3.7 毫秒；（iii）在活塞处于上死点之后时，更加优选地在上死点之后曲轴处于 2 到 15 曲柄角度时，使命令的幅度升高到第二阶梯；（iv）命令大约 0.6 到大约 1.0 毫秒的第二阶梯的持续时间，更加优选为大约 0.8 毫秒；

及（v）命令第二阶梯具有这样的幅度，即该幅度处于或者靠近喷射阀的、最大可指令的幅度。

现在参照图 7C，它示出了指令脉冲，在命令发动机工作在区域 603 内时，可以采用该指令脉冲，因此对于每个燃烧循环，气态燃料在两个独立的喷射过程中被引入到燃烧室内。对于这个指令脉冲，命令燃料喷射阀打开到第一喷射过程的幅度 731 和第二喷射过程的幅度 732。幅度 731 可以大于幅度 711 和 721，及，在该方法的一些实施例中，幅度 731 可以是最大的可指令的燃料喷射阀幅度。幅度 732 可以大于或者等于幅度 731，及在一些实施例中，幅度 732 被确定在或者靠近最大的可指令的燃料喷射阀幅度。在该方法的其它实施例中，在发动机工作在或者靠近最大额定功率时，幅度 732 可以是最大的可指令的幅度，及，对于恒定发动机速度，作为发动机负荷的函数可以改变幅度，如虚线 733 所示那样，较低发动机负荷采用较低的幅度。在使发动机性能最佳化时，例如减少排放、增大热效率或者提高燃烧稳定性，可以更加灵活地改变幅度 732，但是使用这样的更加简单的控制策略也可以实现满意结果，即采用第二喷射过程的恒定幅度，该恒定幅度是或者接近最大的可指令的幅度。通过这种方法，在发动机工作在最大额定功率或者靠近最大额定功率时，第二喷射过程的幅度是最大的可指令的燃料喷射阀幅度。

该方法还包括借助减少这些喷射过程中的一个的持续时间来减小引入到燃料室中的燃料的质量大小。在发动机工作在或者靠近最大额定功率时，第二喷射过程具有大约 2 毫秒的持续时间，及，在发动机工作在小于或者等于大约 75%的最大额定功率上时，这个持续时间可以减小到大约 1.8 毫秒。

对于恒定发动机负荷，在发动机工作在具有图 7C 的指令脉冲的区

域 603 内时，该方法可以包括作为发动机速度的函数来改变开始第一喷射过程的正时，因此，当发动机速度减小时，命令开始该喷射过程的正时以在燃烧循环中随后产生，而在第一和第二喷射过程的开始之间的相对正时基本上保持不变。在第一喷射过程的持续时间为大约 0.4 毫秒时，并且在第一喷射过程结束和第二喷射过程开始之间的时间为大约 0.3 到大约 0.4 毫秒时，实现较好的结果。

由于缸内压力可以影响控制通过燃料喷射阀的质量流动速度的阀件位置，因此该方法可以还包括：作为缸内压力的函数可以调整命令的幅度，因此对于向内打开的阀件，在缸内压力减小时，命令的幅度被增大。尽管在缸内压力增大时减少命令的幅度是不直观的（counter-intuitive），但是相信，对于向内打开的阀件，更高的缸内压力有助于阀件从阀座进一步升高，因此对于恒定命令的幅度，实际阀件的升程随着缸内压力的增大而增大了。

现在参照图 8，这个曲线图示出了对于发动机工作在怠速附近所测得的一氧化碳排放对 NOx 排放的实验数据。相应地，选择具有简单矩形指令脉冲的第一工作模式。为这个数据所改变的变量包括喷射过程的持续时间和套内的这些开口的特性，其中该套包围着预热塞。在曲线图的上半部中表示成圆圈的数据点与具有 2 毫秒持续时间的喷射过程所测得的结果相对应。这些三角形示出了在喷射过程的持续时间设定为 3 毫秒时所测得的结果，及正方形表示在该持续时间设定为 4 毫秒时所测得的结果。菱形示出了在喷射过程的持续时间设定到 5 毫秒时所测得的结果。套内的孔开度的特性的变化是这些数据点的分散的原因。对环绕预热塞的不同套进行实验，以确定改变进入开口之间的空间的效果和改变进入和排出孔的直径的效率。对在 1.7mm、2mm、2.5mm 和 3mm 的孔之间的空间进行实验，并且发现，2 到 3 毫米的中心对中心

的空间是有效的。对 0.8mm、1mm、1.2mm 和 1.4mm 的孔直径进行实验。图 8 示出了，在发动机处于怠速时设定 3 到 5 毫秒的持续时间对 2 毫秒有明显的优点。

图 9 是曲线图，它示出了这样数据的碳氢化合物排放对 NOx 排放，即这些数据从发动机工作模式 6 中收集来。减小这些排放是理想的，及趋势线 920 示出了，指令脉冲的形状有助于实现这个结果。线 910 表示通过具有 3.5 毫秒持续时间的矩形指令脉冲所测得的数据。沿着线 910 的不同的位置与具有不同喷射开始正时的指令脉冲的测量值相对应。记录较高碳氢化合物排放的线的左侧与在燃烧循环的后期产生喷射开始时相对应，及在燃烧循环的早期产生喷射开始时测量较高的 NOx 排放（在线的右侧）。如线 912、914 和 916 所示那样，对于指令脉冲形状可以观察与喷射开始的正时有关的类似效果。

线 912、914 和 916 全部来自一般形状的阶梯形指令脉冲，它示出在图 7B 中，但是明显不同的结果表示，阶梯形状的特性的改变对发动机排放影响很大。对于线 912，第一阶梯的持续时间为 2.7 毫秒，对于线 914，第一阶梯的持续时间为 3.2 毫秒，及对于线 916，第一阶梯的持续时间为 3.7 毫秒。第一阶梯的幅度逐渐地从线 912 减小到线 916。对于这些线中的每一个，调整第二阶梯的幅度以保持负荷，及在每种情况下的第二阶梯的持续时间为 0.8 毫秒。趋势线 920 示出了，在模式 6 上，与具有相对较短时间和较高幅度的指令脉冲形状相比，具有幅度较低的较长第一阶梯的指令脉冲形状产生了较小的排放。

图 10 是另一个曲线图，它示出了碳氢化合物排放与 NOx 排放，其中，这些数据点从发动机工作在模式 6 上、指令脉冲具有图 7B 所示的阶梯形的实验中收集来。在这个例子中，对于每个数据集设定采用相同形状的指令脉冲。第一阶梯的持续时间是 3.7 毫秒，第二阶梯的持

续时间是 0.8 毫秒。此外，沿着图示线的不同位置表示改变开始每个喷射过程的正时的效果。这些不同线来自作为升压改变的结果所产生的数据点。线 1010 与在升压为 120kPag 时所测得的数据点相对应。对于实验发动机，在模式 6 中，120kPag 是最大升压。对于线 1012，该升压被限制到 95kPag。在升压被限制到 65kPag（线 1014）时，可以实现减少碳氢化合物和NOx的排放的更好结果，及在升压被限制到45kPag（线 1016）时，仍然更好。此外，观察趋势以示出了排放可以通过减少升压来减少。提高升压的效果是，更多氧气被引入到燃烧室中，及这在正常情况下被认为有利于提高燃烧稳定性。在区域 602' 所限定出的中间负荷范围内，在气态燃料直接喷射到燃烧室内的情况下，具有充足的氧气存在于燃烧室内，并且这使得可以减小升压。相应地，图 10 示出了，在选择第二工作模式时，在模式 6 上，为了减小碳氢化合物和 NOx 的排放，把升压限制到小于 65kPag 是有利的。

在实验发动机中，在模式 6 上，120kPag 的升压与 3.7 的空气一燃料比（λ）相对应，及 65kPag 的升压与 2.7 的空气一燃料比相对应。相应地，在模式 6 上，为了减小碳氢化合物和 NOx 的排放，因此以空气一燃料比小于 2.7 进行工作是理想的。在更大的负荷和速度条件下，在发动机工作在与图 6B 的区域 603 相对应的第三工作模式上以提高功率和效率并具有较好的燃烧稳定性时，该方法还可以包括，命令发动机进气系统中的升压，以致空气一燃料比为大约 1.4 到大约 1.5，优选为大约 1.5。

图 11 和 12 被并排示出，因为它们比较双脉冲喷射策略对阶梯喷射策略的结果。这些曲线图与燃料喷射脉冲的命令形状、放热速度和缸内压力（所有这些相对于曲柄角度作出）的图表结合。在图 11 和 12 中，在每种情况下引入相同量的燃料，其中发动机以 2700RPM 的速度

进行工作。在图 11 的双脉冲策略的情况下，发动机产生了 120kW，其中热效率为 32%。在图 12 的阶梯喷射策略的情况下，发动机产生 98kW，其中热效率为 27%。总之，与阶梯喷射策略中的在上死点之后大约 23.1 曲柄角度相比，通过在上死点之后在 15.5 曲柄角度上燃烧 50%的燃料的该双脉冲策略，可以得到更好的结果。对于这两个策略，燃烧稳定性较好并且相同，其中 VOC IMEP 为大约双脉冲策略的 1.9%和为阶梯喷射策略的大约 1.6%，在这里，COV 表示变化的系数，及借助采用 IMEP 的标准偏差和把它除以平均 IMEP 来计算出 COV IMEP。相应地，这些实验的这些结果表明，采有这样的策略是有利的，即把发动机工作范围分成三个区域，如图 6B 所示那样，其中在发动机工作在区域 603 内时，命令双脉冲喷射策略。

尽管已经示出和描述了本发明的具体元件和实施例，但是当然应该知道，本发明不局限于此，因为在没有脱离本公开范围的情况下，尤其根据前面教导，本领域普通技术人员可以进行变形。

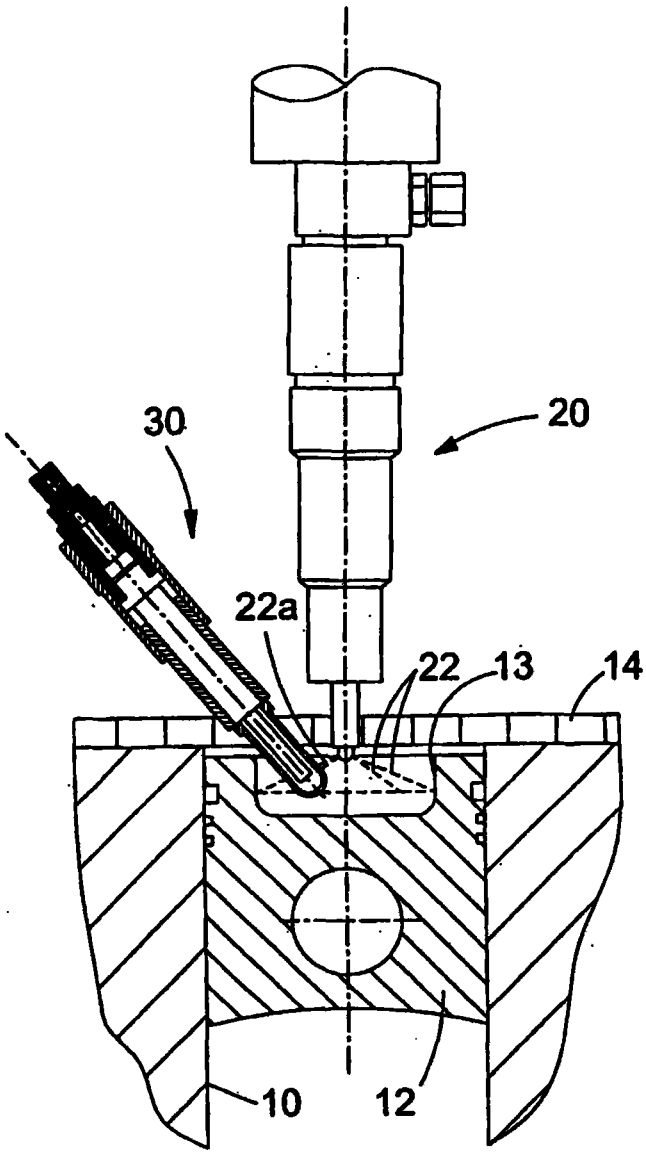


图1

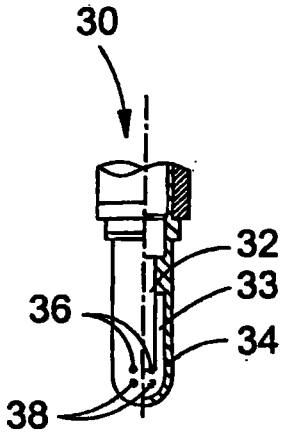


图2

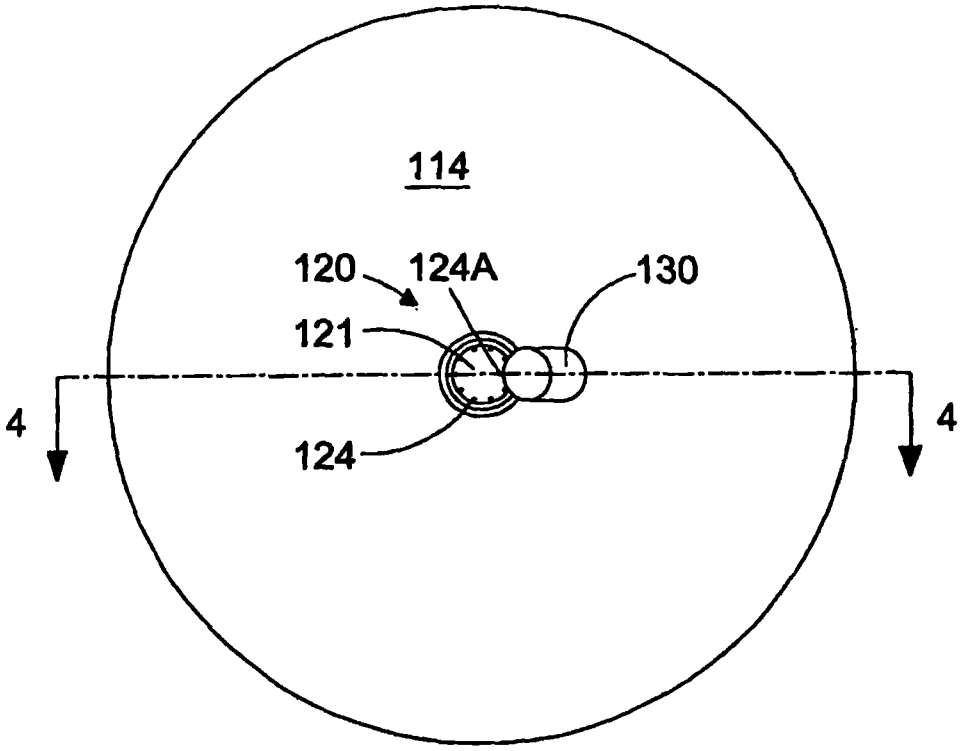

114
120
124A
130
121
124
4
4

图3

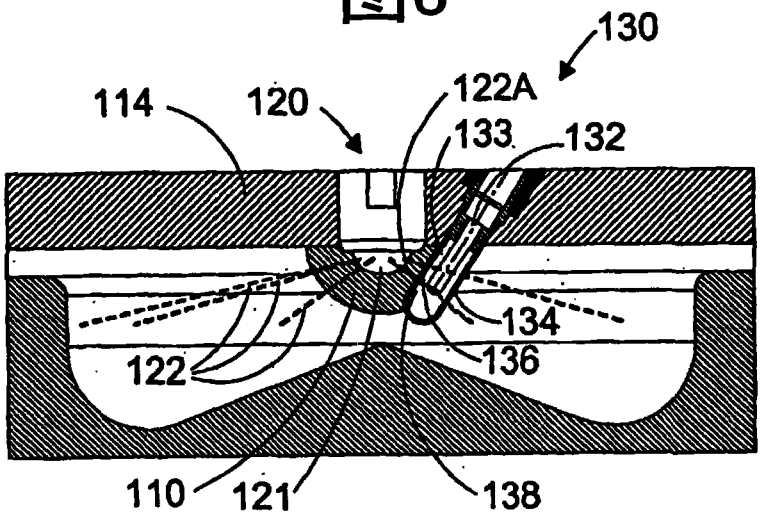

130
114
120
122A
133
132
134
136
122
110
121
138

图4

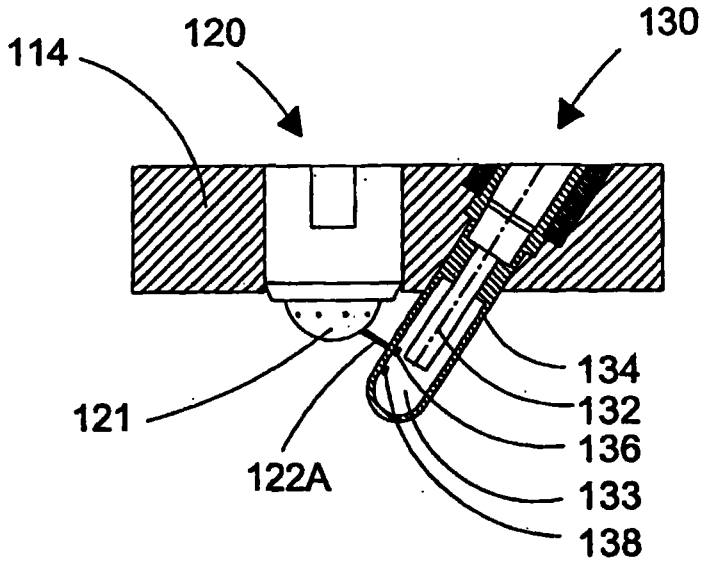

114
120
130
134
132
136
133
138
121
122A

图4A

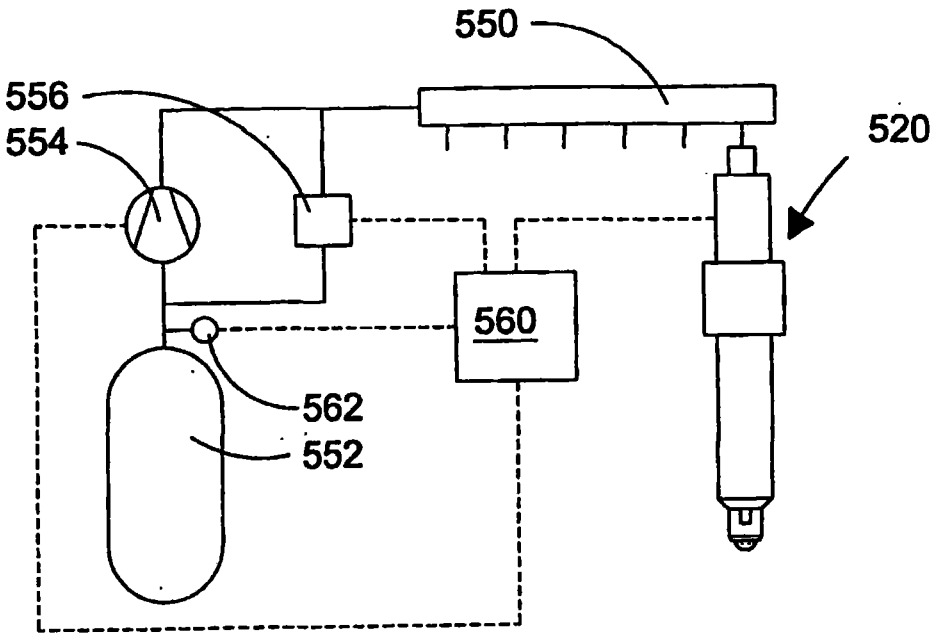

550
556
554
520
560
562
552

图5

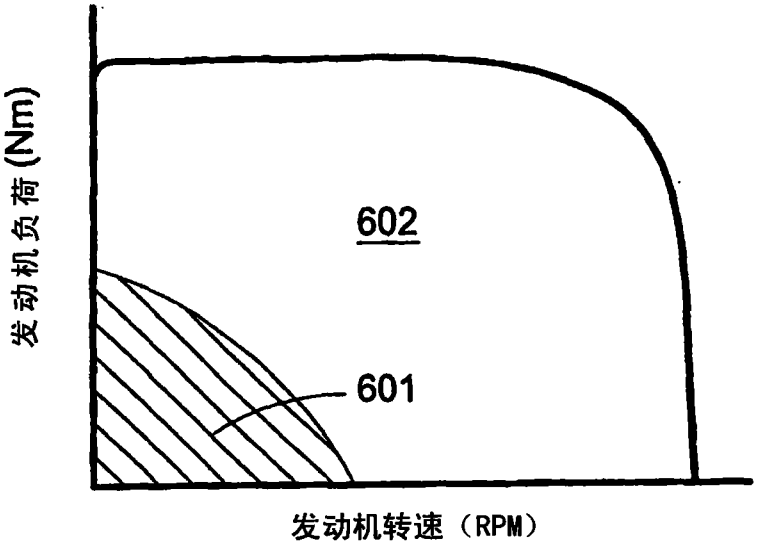


图6A

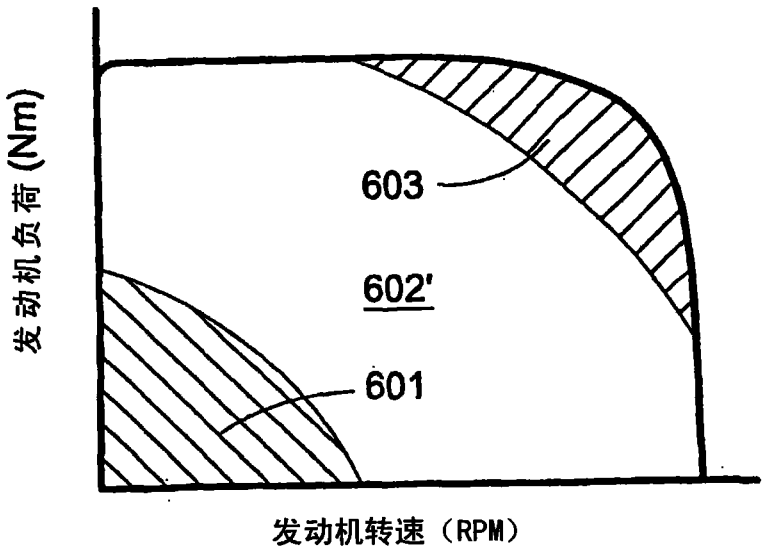


图6B

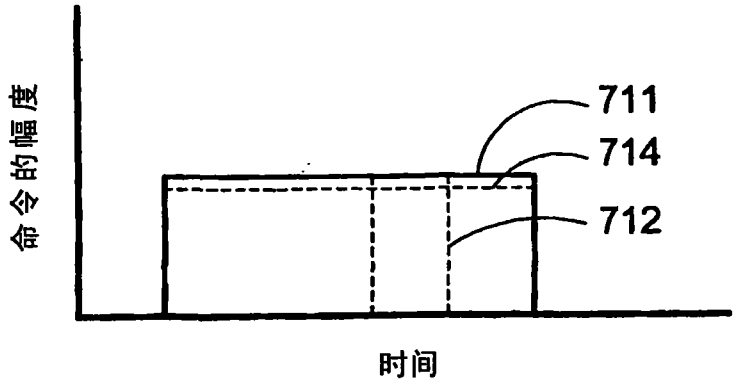

711
714
712
命令的幅度
时间

图7A

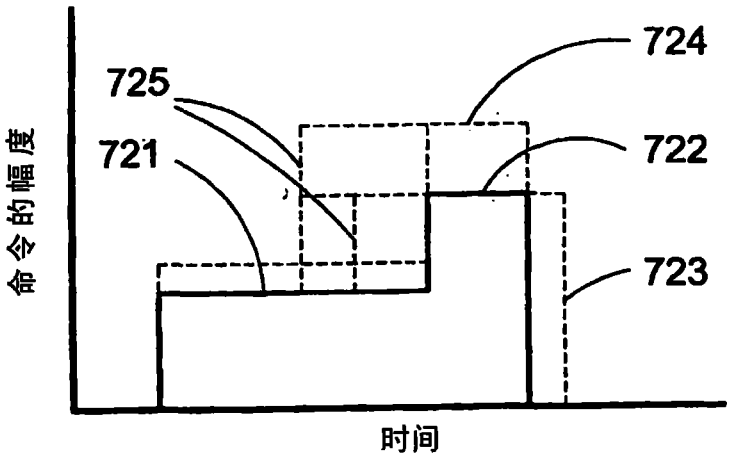

724
725
722
721
723
命令的幅度
时间

图7B

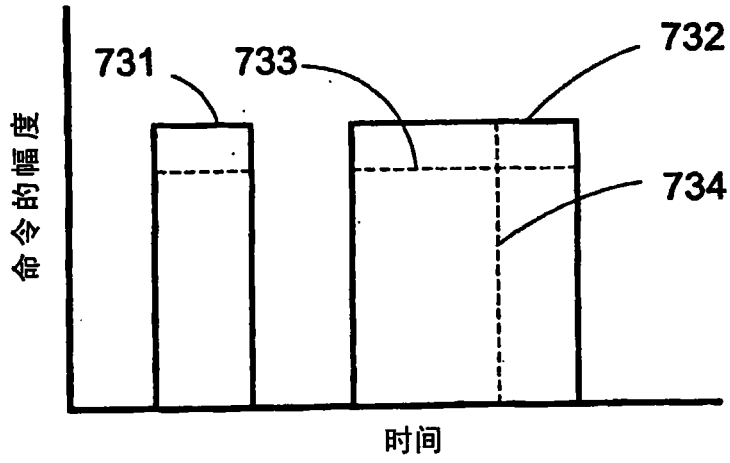

731
733
732
734
命令的幅度
时间

图7C

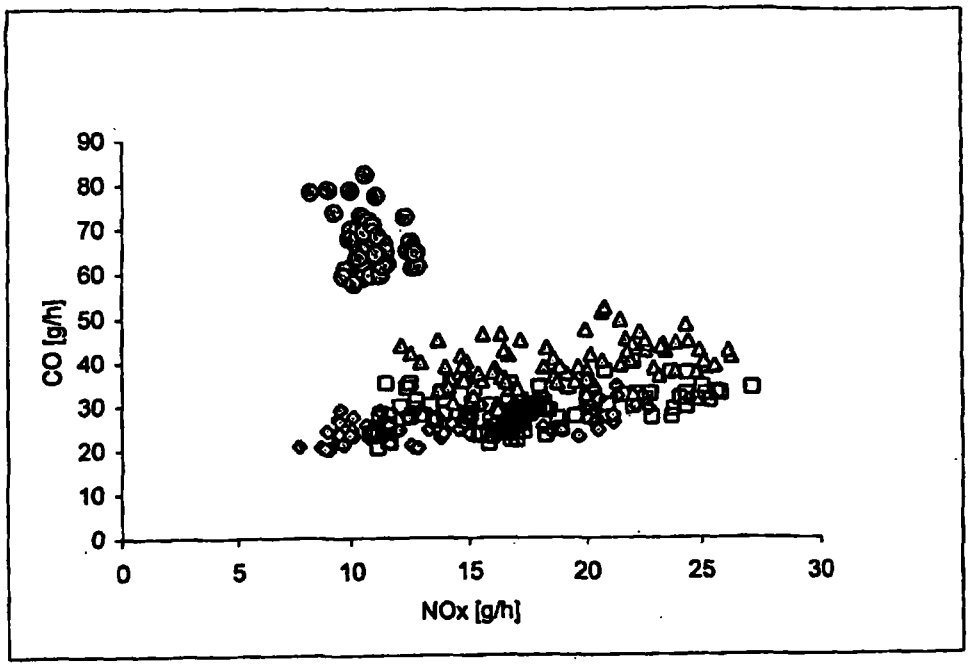

CO [g/h]
NOx [g/h]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
0
5
10
15
20
25
30

图8

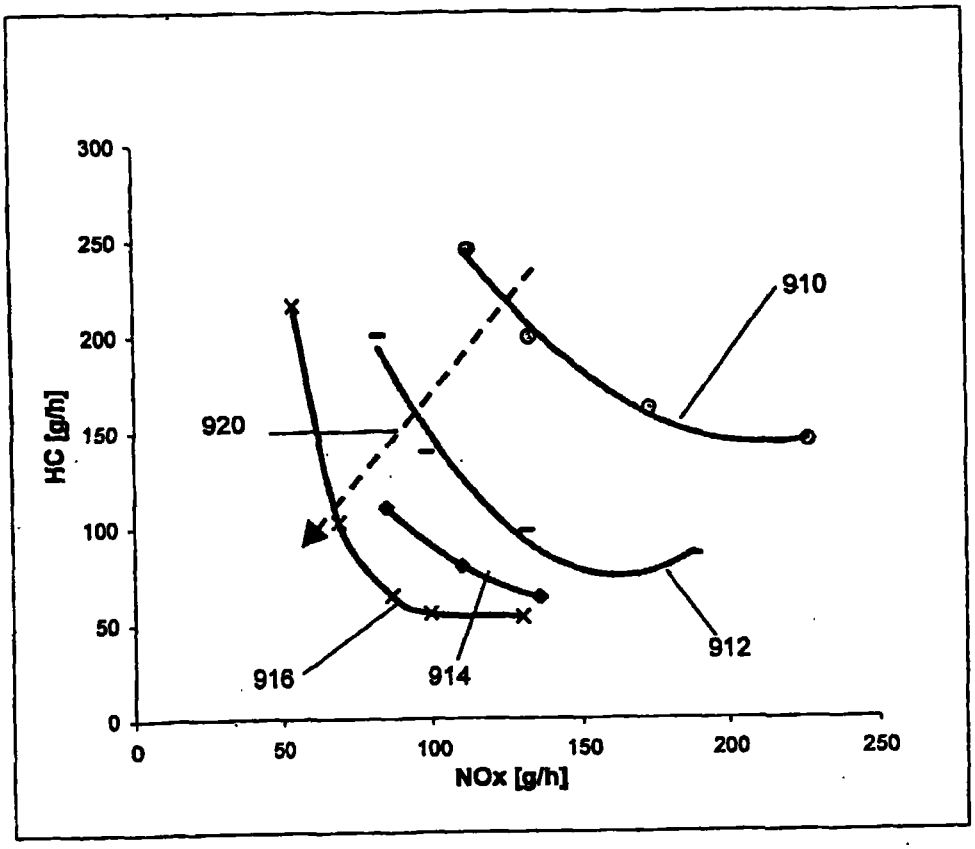

HC [g/h]
NOx [g/h]
910
920
912
916
914
0
50
100
150
200
250
300

图9

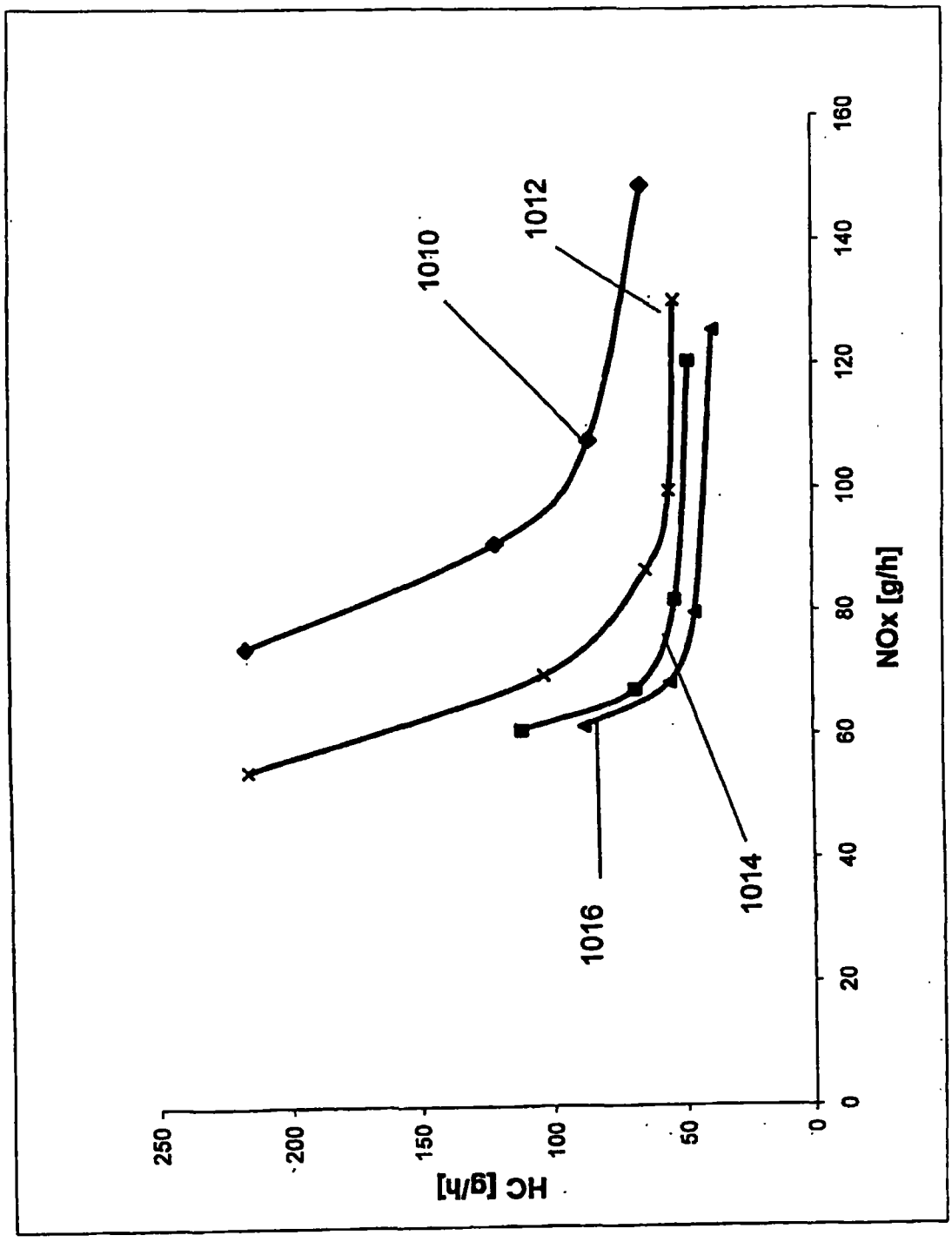

HC [g/h]
NOx [g/h]
1010
1012
1014
1016
0
20
40
60
80
100
120
140
160
50
100
150
200
250

图10

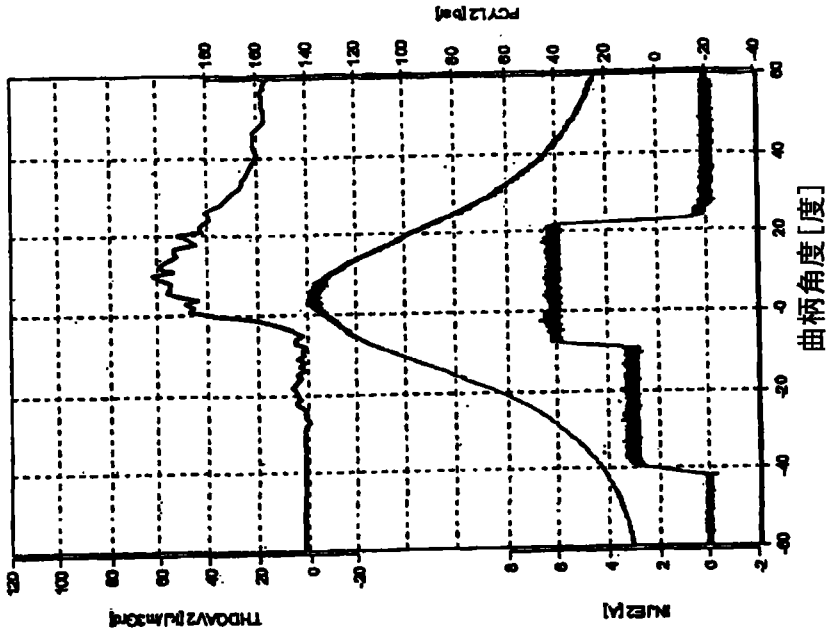


图12

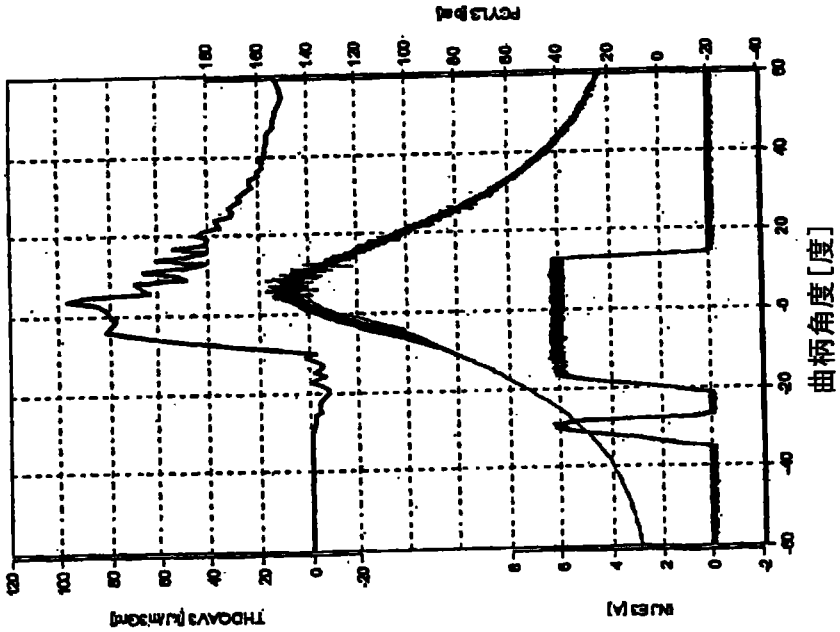


图11

1.一种气态燃料内燃机的运行方法，该内燃机包括：至少一个燃烧室，它由气缸、在所述气缸内可往复运动的活塞和盖住所述气缸的端部的缸盖限定出；活塞杆，它把所述活塞连接到曲轴上，因此所述曲轴借助所述活塞的往复运动可以旋转；燃料喷射阀，具有设置在所述燃烧室内的喷嘴端从而把气态燃料直接引入到所述燃烧室内；及点火装置，包括点火器，该点火器可以借助电加热件来加热，所述方法包括：

选择至少两个预定工作模式中的一个以作为发动机负荷和发动机速度的函数，其中在命令所述发动机工作在与低负荷和低速度范围相对应的第一区域内时，选择第一工作模式；及在命令所述发动机工作在不同于所述第一区域的第二区域内时，选择第二工作模式，与所述第一区域相比，所述第二区域与更大负荷范围和更大速度范围中的至少一个相对应；

在所述第一工作模式中，在每个燃烧循环的单个喷射过程中引入所述气态燃料，并且命令所述喷射阀以恒定幅度 A1 打开；以及

在所述第二工作模式中，在每个燃烧循环的单个喷射过程中引入所述气态燃料,并且命令所述喷射阀以恒定幅度 A2 开始一个预定时间，及然后命令所述喷射阀打开到幅度 A3，其中幅度 A3 大于幅度 A2。

2.根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，还包括：在命令所述发动机在不同于所述第二区域的第三区域内进行工作时，选择第三工作模式，与所述第二区域相比，所述第三区域与较大负荷范围和较大速度范围中的至少一个相对应，以及在所述第三工作模式中，在每个燃烧循环的两个独立喷射过程中引入所述气态燃料，和命令所述喷

射阀打开到第一喷射过程的幅度 A4 和第二喷射过程的幅度 A5。

3. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，还包括：在选择所述第一工作模式时，命令所述喷射过程的持续时间为 3 到 5 毫秒。

4. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，还包括：所述幅度 A1 是最小的幅度，对于由所述第一工作模式所限定出的工作条件，它形成绕着所述点火器的可燃的燃料空气混合气。

5. 根据权利要求 4 所述的方法，其特征在于，用于开始和结束所述喷射过程的正时被确定为发动机速度的函数，在开始和结束所述喷射过程之间的时间随着发动机速度从怠速开始增大而增大。

6. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，对于每个工作条件，所述幅度 A1 被预先确定为最小的幅度，对于由所述第一工作模式所限定出的每个相应的工作条件，该幅度形成绕着所述点火器的可燃的燃料空气混合气。

7. 根据权利要求 6 所述的方法，其特征在于，对于恒定发动机速度，和当选择所述第一工作模式时，在开始和结束所述喷射过程之间的时间是恒定的并且幅度 A1 随着发动机负荷增大而增大。

8. 根据权利要求 6 所述的方法，其特征在于，用于开始和结束所述喷射过程的正时被确定为发动机速度的函数，在开始和结束所述喷射过程之间的时间随着发动机速度从怠速开始增大而减小。

9. 根据权利要求 8 所述的方法，其特征在于，在选择所述第一工作模式并且所述发动机工作在怠速或者接近怠速时，所述方法还包括，在所述曲轴位于上死点之前的 9 到 15 度的曲柄角度时开始所述喷射过程。

10. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述幅度 A2 是最小幅度，对于由所述第二工作模式所限定出的工作条件，该幅度形成

绕着所述点火器的可燃的燃料空气混合气。

11.根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，还包括，对于所述第二工作模式所限定出的每个工作条件，将所述幅度 A2 校准成最小幅度，该最小幅度形成绕着所述点火器的可燃的燃烧空气混合气。

12.根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述幅度 A3 是或者接近所述喷射阀的最大可命令的幅度。

13.根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，还包括，调节作为缸内压力的函数的所述幅度 A1 和 A2，因此所述命令的幅度随着缸内压力的减小而增大。

14.根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，在所述发动机以所述第二工作模式进行工作时，所述方法还包括：在所述曲轴位于上死点之前的 11 到 36 度曲柄角度时，命令所述喷射阀打开到所述幅度 A2。

15.根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，由所述第二工作模式所限定出的多个工作条件中的一个是在所述发动机工作在日本 G13 排放证明实验的模式 6 上时，及所述方法还包括，在所述曲轴位于上死点之后的 2 到 15 度曲柄角度时，在模式 6 上命令所述喷射阀打开到所述幅度 A3。

16.根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，由所述第二工作模式所限定出的多个工作条件中的一个是在所述发动机工作在日本 G13 排放证明实验的模式 6 上时，及所述方法还包括：在所述活塞处于上死点之后时，在模式 6 上命令所述喷射阀打开到所述幅度 A3。

17.根据权利要求 16 所述的方法，其特征在于，在所述发动机工作在模式 6 上时，所述方法还包括，在所述曲轴位于上死点之前的 22 到 30 度曲柄角度之间时，命令所述喷射阀打开到所述幅度 A2。

18.根据权利要求 17 所述的方法，其特征在于，还包括，命令所

述喷射阀打开到所述幅度 A2 以持续 2.4 到 3.7 毫秒的时间。

19. 根据权利要求 17 所述的方法，其特征在于，还包括，命令所述喷射阀打开到所述幅度 A2 以持续 3.7 毫秒的时间。

20. 根据权利要求 18 所述的方法，其特征在于，还包括，命令所述喷射阀从所述幅度 A2 打开到所述幅度 A3 并且在被命令到所述幅度 A3 为 0.8 毫秒之后关闭。

21. 根据权利要求 16 所述的方法，其特征在于，所述方法还包括，命令所述喷射阀打开到所述幅度 A3 以持续 0.6 到 1.0 毫秒的时间。

22. 根据权利要求 21 所述的方法，其特征在于，幅度 A3 是或者接近所述喷射阀的最大可命令的幅度。

23. 根据权利要求 2 所述的方法，其特征在于，所述幅度 A4 大于所述幅度 A1，并且所述幅度 A5 等于或者大于所述幅度 A4。

24. 根据权利要求 23 所述的方法，其特征在于，所述幅度 A4 是所述喷射阀的最大可命令的幅度。

25. 根据权利要求 2 所述的方法，其特征在于，在所述发动机以最大额定功率或者以接近最大额外功率进行工作时，所述幅度 A5 是所述喷射阀的最大可命令的幅度。

26. 根据权利要求 25 所述的方法，其特征在于，在所述发动机工作在所述第三工作模式上时，对于恒定发动机速度，所述方法还包括改变作为发动机负荷的函数的所述幅度 A5，所述幅度 A5 随着发动机负荷的减小而减小。

27. 根据权利要求 26 所述的方法，其特征在于，还包括，在所述发动机以最大额定功率或者以接近最大额定功率进行工作时，命令所述第二喷射过程具有 2 毫秒的持续时间，并且在所述发动机以小于或者等于 75%的最大额定功率进行工作时，使所述持续时间减小到 1.8 毫

秒。

28. 根据权利要求 25 所述的方法，其特征在于，在所述发动机以所述第三工作模式进行工作时，对于恒定发动机负荷，所述方法还包括：改变开始作为发动机速度的函数的所述第一喷射过程的正时，因此随后，在燃烧循环中，命令开始所述第一喷射过程的正时，当发动机速度减小时，在所述第一和第二喷射过程的开始之间的数毫秒的相对正时保持恒定。

29. 根据权利要求 2 所述的方法，其特征在于，在选择所述第三工作模式时，所述方法还包括命令第一喷射过程的持续时间为 0.4 毫秒。

30. 根据权利要求 29 所述的方法，其特征在于，在所述第一喷射过程的结束和第二喷射过程的开始之间的正时为 0.3 和 0.4 毫秒之间。

31. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，在选择所述第二工作模式并且所述发动机工作在稳定状态条件下时，所述方法还包括把所述发动机的进气系统中的升压限制到小于 120kPag。

32. 根据权利要求 31 所述的方法，其特征在于，所述升压被限制到小于 65kPag。

33. 根据权利要求 2 所述的方法，其特征在于，在选择所述第三工作模式并且所述发动机工作在稳定状态条件下时，所述方法还包括：命令所述发动机进气系统中的升压为 100 和 120kPag 之间。

34. 根据权利要求 33 所述的方法，其特征在于，所述升压被限制成小于 100kPag。

35. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，在模式 6 上命令所述发动机工作在稳定状态条件下并且选择所述第二工作模式时，所述方法还包括把进气系统中的升压限制成使 λ 小于 2.7。

36. 根据权利要求 2 所述的方法，其特征在于，在选择所述第三工

作模式并且所述发动机工作在稳定状态条件下时，所述方法还包括：命令所述发动机的进气系统中的升压，以致 λ 为 1.4 到 1.5、及更加优选为 1.5。

37. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，在选择所述第一或者第二工作模式中的一个时，所述方法还包括：控制喷射正时和命令的幅度中的至少一个，从而

引入参照发动机图表所确定的预定量燃料；及

在燃烧开始之后结束所述喷射过程。

38. 根据权利要求 37 所述的方法，其特征在于，对于每个喷射过程，在燃烧开始之后，主要部分的所述气态燃料被引入到所述燃烧室中。

39. 根据权利要求 37 所述的方法，其特征在于，还包括：控制作为发动机速度的函数的、起动所述喷射过程的正时，及在发动机速度增大时，增大用于开始所述喷射过程的正时的上死点之前的曲柄角度的数量。

40. 根据权利要求 2 所述的方法，其特征在于，在选择所述第三工作模式时，所述方法还包括，控制喷射正时和命令的幅度中的至少一个，从而

引入参照发动机图表所确定的预定量燃料；及

在燃烧开始之后结束所述第二喷射过程。

41. 根据权利要求 40 所述的方法，其特征在于，对于每个燃烧循环，在燃烧开始之后，主要部分的所述气态燃料被引入到所述燃烧室中。

42. 根据权利要求 40 所述的方法，其特征在于，还包括：控制作为发动机速度函数的、开始所述第一喷射过程的正时，并且在发动机

速度增大时，增大用于开始所述第一喷射过程的正时的上死点之前的曲柄角度数量。

43.根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述点火装置包括套，该套限定出环绕所述点火器的点火室并且限制所述燃烧室和所述点火室之间的连通以流过多个开口，这些开口的至少一些被定向成朝向所述燃料喷射阀的所述喷嘴的总体方向，因此来自燃烧室中的所述气态燃料和氧中的一些可以流入到所述点火室中以形成可燃的混合气，这些混合气借助所述点火器可以点燃，在点火之后，所述套允许在所述点火室内压力升高，因此燃烧的燃料空气混合气可以从所述点火室推进到所述燃烧室中以点燃气态燃料。

44.根据权利要求43所述的方法，其特征在于，借助从所述燃料喷射阀释放到所述燃烧室中的多个燃料喷雾束，把所述气态燃料引入到所述燃烧室中，及所述方法还包括：把所述燃料喷雾束中的一个、称为点火喷雾束导向到所述套的表面上的撞击位置上，该套包围所述点火器，因此在所述点火喷雾束离开它的相应燃料喷射开口时，所述气态燃料的主要部分沿着喷雾束的方向流向所述撞击位置，该喷雾束的方向被定向成离开垂直于这样平面的轴线小于或者等于25度，该平面在所述撞击位置上与所述套相切，该撞击位置靠近所述多个开口中的至少一个，因此来自所述点火燃料喷雾束的所述气态燃料中的一些流过所述至少一个开口并且在所述点火室内与空气相混合。

45.根据权利要求44所述的方法，其特征在于，还包括，把所述点火喷雾束导向到撞击位置上，该撞击位置位于所述多个开口中的两个之间，位于所述两个开口的中心之间的空间是2－3毫米。