(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107076006 A
(43)申请公布日 2017.08.18

(21)申请号 201580059544.8

(22)申请日 2015.09.01

(30)优先权数据
62/044761 2014.09.02 US
14/391906 2014.10.10 US
62/079885 2014.11.14 US
62/128162 2015.03.04 US
14/840688 2015.08.31 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2017.05.02

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2015/047857 2015.09.01

(87)PCT国际申请的公布数据
WO2016/036684 EN 2016.03.10

(71)申请人 乙醇推动系统有限责任公司
地址 美国马萨诸塞州

(72)发明人 D.R.科恩 L.布罗姆伯格

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001
代理人 严志军 傅永霄

(51)Int.Cl.
F02B 7/00(2006.01)
F02B 47/04(2006.01)
F02M 25/14(2006.01)
F02D 19/08(2006.01)

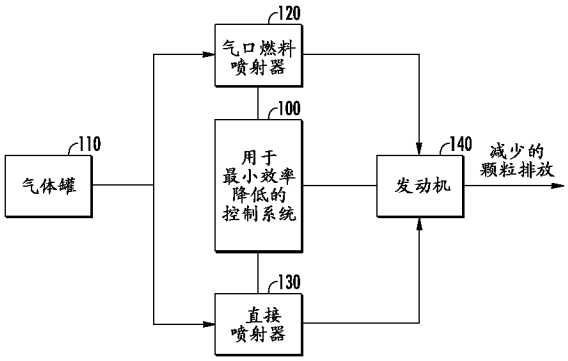
权利要求书3页 说明书16页 附图9页

(54)发明名称

使用优化的气口喷射和直接喷射的汽油颗粒减少

(57)摘要

描述了一种使用优化的气口+直接喷射的汽油发动机中的颗粒排放减少的附加途径。这些实施例包括控制直接喷射的燃料量以便避免由于活塞润湿引起的颗粒阈值增大,以及通过使用可变气门正时的空气预热的使用来减少冷启动排放。



CN 107076006 A

1.一种用于火花点火的发动机的燃料管理系统，其中燃料被直接地喷射到至少一个发动机缸中，以及其中在高于引入所述至少一个发动机缸中的直接喷射的燃料量的阈值水平的驾驶周期的预热部分期间，颗粒排放由于活塞润湿而经历阈值增大；

以及其中所述燃料管理系统还使用气口燃料喷射来将燃料引入所述至少一个缸中；

以及其中使用所述气口燃料喷射以便在与如果不使用气口燃料喷射而在更高的转矩下操作时有颗粒排放的阈值增大的情况相比允许在更高的转矩下的操作而无颗粒排放的阈值增大；

以及其中所述燃料管理系统在转矩增大时增大直接喷射的燃料分数，以便防止爆震。

2.根据权利要求1所述的燃料管理系统，其特征在于，在转矩从需要最大分数来防止爆震的转矩减小时，所述分数减小以便匹配防止爆震所需的量；以及其中该匹配在所述转矩减小至不需要直接喷射来防止爆震的水平时继续。

3.根据权利要求1所述的燃料管理系统，其特征在于，火花延迟和/或可变气门正时用于增大转矩水平，在该转矩水平下，所述发动机可操作而不超过颗粒排放的阈值水平。

4.根据权利要求1所述的燃料管理系统，其特征在于，所述发动机以汽油为燃料。

5.根据权利要求1所述的燃料管理系统，其特征在于，所述燃料管理系统在给定水平的颗粒排放减少下最小化燃料周期效率降低。

6.根据权利要求1所述的燃料管理系统，其特征在于，所述直接喷射的燃料分层，以及其中在转矩增大时，所述直接喷射的燃料分数随转矩增大而减小，以便减少颗粒排放，且在转矩进一步增大时，所述直接喷射的燃料分数随转矩增大而增大，以便防止爆震。

7.根据权利要求1所述的燃料管理系统，其特征在于，在直接喷射的燃料量超过阈值水平时，颗粒排放水平存在大百分比的增大。

8.根据权利要求1所述的燃料管理系统，其特征在于，通过使用气口燃料喷射加直接燃料喷射，US06驾驶周期中的预热操作中的颗粒排放水平相比于如果仅使用直接喷射而将成为的水平降低至少90%。

9.根据权利要求1所述的燃料管理系统，其特征在于，在限定为所述发动机启动之后的头100秒的所述驾驶周期的冷启动部分期间，直接喷射的燃料分数匹配如果存在的转矩增大时防止爆震所需的量；以及其中由直接喷射提供的所述缸中的燃料的平均分数小于它在所述驾驶周期的预热部分中的。

10.一种用于火花点火的发动机的燃料管理系统，其中在限定为所述发动机启动之后的头100秒的驾驶周期的冷启动部分期间，燃料通过气口喷射供燃料来引入至少一个缸中；

以及其中在转矩增大时，如果需要，燃料通过直接喷射引入所述至少一个发动机缸中，以防止爆震；

以及其中直接喷射的燃料分数匹配所需的量，以便在转矩增大时防止爆震；

以及其中，在所述驾驶周期的该部分期间，由直接喷射提供的所述缸中的燃料的平均分数小于它在预热操作中的。

11.根据权利要求10所述的燃料管理系统，其特征在于，在所述驾驶周期的该冷启动部分的至少一部分期间，火花延迟和可变气门正时用于减小直接喷射的所述燃料分数，且减少颗粒排放。

12.根据权利要求10所述的燃料管理系统，其特征在于，在所述驾驶周期的该冷启动部

分的至少一部分期间，所述燃料管理系统调整火花延迟来减少直接地喷射的所述燃料分数，同时防止失火，以及其中使用了失火检测器。

13.根据权利要求10所述的燃料管理系统，其特征在于，在所述驾驶周期的该冷启动部分的至少一部分期间，所述燃料管理系统调整火花延迟来减少直接地喷射的所述燃料分数，同时防止失火；以及其中火花延迟尽可能大地调整，而不产生失火。

14.根据权利要求10所述的燃料管理系统，其特征在于，冷启动期间的火花延迟量使用来自爆震检测器和查找表的信息控制，以及其中所述查找表使火花延迟关联至在给定转矩下使用的直接喷射的燃料分数的减小。

15.根据权利要求10所述的燃料管理系统，其特征在于，在所述驾驶周期的该冷启动操作的至少一部分期间，用于直接喷射器中的压力增大，以便减小颗粒排放。

16.根据权利要求10所述的燃料管理系统，其特征在于，在发动机操作的头100秒期间，所述颗粒排放小于如果仅使用直接喷射而它们将成为的情况的10%。

17.根据权利要求10所述的燃料管理系统，其特征在于，具有或没有可变气门升程的可变气门正时用于通过在至少一个发动机缸中的压缩来加热空气，其中排气气门正时在冷启动期间提前，且在预热操作发生时改变，以及其中排气气门的闭合之后的入口气门的开启使得来自所述缸的加热空气发送回入口歧管；

其中引入所述缸中的所述燃料由从所述缸发送到所述入口歧管中的所述加热空气来加热和汽化，以及其中存在至少一个发动机周期，其中没有燃料通过燃料系统引入所述入口歧管中，

以及其中颗粒排放通过所述加热空气减少。

18.根据权利要求17所述的燃料管理系统，其特征在于，液压流体用于提供气门正时和/或升程；以及其中在发动机启动周期期间，一个或更多个手段用于提供这些调整，直到它们可由液压流体提供；

以及其中这些手段包括电动气门正时、双重稳定凸轮或电动油泵。

19.一种用于火花点火的发动机的燃料管理系统，其中燃料直接喷射到至少一个发动机缸中；

以及其中如果仅直接喷射用于对所述发动机供燃料，则在给定速度下将存在转矩的第一阈值水平，在该给定速度下，颗粒排放经历大百分比的增大；

以及其中，通过使用除直接喷射外的气口燃料喷射，转矩的阈值水平关于所述转矩的第一阈值水平增大。

20.根据权利要求19所述的燃料管理系统，其特征在于，在需要防止爆震时使用直接喷射的燃料分数；

以及其中，在转矩增大时，该分数匹配，以便满足转矩增大、且转矩达到需要直接喷射的燃料的最大分数的转矩时防止爆震所需的所述分数；

以及其中此匹配相对于如果此匹配不发生而将成为的情况增大转矩的阈值水平。

21.根据权利要求19所述的燃料管理系统，其特征在于，火花延迟用于进一步提高转矩的阈值水平；

以及其中使用的火花延迟量由关于所述发动机的转矩和速度或关于直接喷射的燃料量的信息来控制。

22.根据权利要求19所述的燃料管理系统，其特征在于，火花延迟使用查找表控制，所述查找表在给定转矩和速度的值下使颗粒排放的减少与增大的火花延迟相关联。

23.根据权利要求19所述的燃料管理系统，其特征在于，所述发动机使用稀释操作，以及其中对于颗粒控制的气口燃料喷射加直接燃料的使用提供了比如果仅使用直接喷射而将成为的情况在驾驶周期内的更大的发动机效率。

24.根据权利要求19所述的燃料管理系统，其特征在于，在连同汽油颗粒过滤器使用时，组合提供了与单独的汽油颗粒过滤器相比更大的颗粒减少。

25.根据权利要求19所述的燃料管理系统，其特征在于，直接燃料喷射器的压力暂时增大来在高转矩下减少颗粒产生。

26.一种用于火花点火的发动机的燃料管理系统，其中具有或没有可变气门升程的可变气门正时用于通过至少一个发动机缸中的压缩来加热空气；

其中排气气门正时在冷启动期间提前，且在预热操作发生时改变；

以及其中排气气门的闭合之后的入口气门的开启使得来自所述缸的加热空气发送回入口歧管；

以及其中引入所述缸中的燃料由从所述缸发送到所述入口歧管中的所述加热空气来加热和汽化，以及其中存在至少一个发动机周期，其中没有燃料通过所述燃料系统引入所述入口歧管中；

以及其中颗粒排放通过所述加热空气减少。

27.根据权利要求26所述的燃料管理系统，其特征在于，液压流体用于提供气门正时和/或升程；以及其中在发动机启动周期期间，一个或更多个手段用于提供这些调整，直到它们可由液压流体提供；

以及其中这些手段包括电动气门正时、双重稳定凸轮或电动油泵。

28.根据权利要求26所述的燃料管理系统，其特征在于，所述排气气门正时提前30到60曲柄角度数之间的量。

29.根据权利要求26所述的燃料管理系统，其特征在于，烃类气体排放通过所述加热空气减少。

使用优化的气口喷射和直接喷射的汽油颗粒减少

[0001] 相关申请的交叉引用

本申请请求享有2014年9月2日提交的美国临时专利申请序列第62/044,761号、2014年10月10日提交的美国专利申请序列第14/391,906号、2015年3月4日提交的美国临时专利申请序列第62/128,162号，以及2015年8月31日提交的美国专利申请序列第14/840,688号的优先权，它们的公开内容通过引用以其整体并入本文中。

背景技术

[0002] 关于来自汽油发动机车辆的颗粒物质(PM)排放的关注在不断增加。此关注由火花点火的汽油供能的车辆的显著较高小颗粒排放驱动，此车辆使用汽油作为液体到发动机缸中的至少一个中的直接喷射(DI)。这些小颗粒停留在肺中，且可危害人类健康。

[0003] 尽管直接喷射通过经由蒸发冷却提高抗爆震性能来提高发动机效率和性能，但整个驾驶周期中DI的使用显著增加颗粒排放。关于常规气口燃料喷射(PFI)发动机，在结合直接喷射操作时的颗粒数目取决于周期和发动机操作状态在驾驶周期内增加了10到100倍。排放尤其关系到涡轮增压的发动机，且这对于增压的发动机也将是此情况。

[0004] 对PM2.5(直径小于2.5微米的颗粒物质)的更严格的法规已在欧洲制订，且预计也会在美国，包括EPA和加州法规两者。欧洲的法规将适用于颗粒的数目以及放出的颗粒物质的量。

[0005] 因此，改善发动机性能同时最小化颗粒排放的技术将是有益的。

发明内容

[0006] 描述了用于减少汽油发动机中的颗粒排放的附加途径。这些实施例包括控制直接喷射的燃料量以便避免由于活塞润湿引起的颗粒阈值增大，以及通过使用可变气门正时来使用空气预热以减少冷启动排放。

附图说明

[0007] 为了更好理解本公开内容，将参照附图，附图通过引用并入本文中，且在附图中：

图1为用于防止预热发动机状态中的直接喷射颗粒生成的阈值BMEP(平均有效制动压力)的示范性模型预测。线下方的操作防止颗粒，线上方的操作生成颗粒。平均有效制动压力对应于给定容积的发动机缸的转矩。

[0008] 图2示出了2000rpm下随BMEP变化的颗粒排放的示范性模型计算。

[0009] 图3示出了若干发动机速度下的随平均有效制动压力(BMEP)变化的以任意单位的颗粒物质生成的示范性模型计算。

[0010] 图4示出了发动机操作图内的颗粒生成(任意单位)。轮廓针对5和10的任意单位示出。

[0011] 图5示出了需要直接喷射以便防止具有10的压缩比的涡轮增压发动机的爆震的汽油的示范性分数。

[0012] 图6示出了使用PFI/DI和DI燃料的最小化，具有压缩比=10的涡轮增压的发动机的示范性颗粒物质(PM)生成(以任意单位)。

[0013] 图7示出了对于UDDS和US06周期两者的具有随时间变化的1.7bar(绝对)的歧管空气压力(MAP)的发动机的燃料的DI分数。

[0014] 图8示出了给定发动机速度下的随转矩变化的DI与PFI之间的示范性比率，以便约束颗粒排放且防止爆震，同时在低转矩下使用高分数DI。这是分层直接喷射的代表性方案。

[0015] 图9示出了用于调整发动机操作和/或直接喷射燃料和气口燃料喷射的燃料之比来以最小驾驶周期效率降低来减少颗粒降低的发动机控制系统。

[0016] 图10示出了正常(顶部)入口和排气气门升程和提前排气气门升程。入口条件对于两者保持恒定。

[0017] 图11示出了正常气门正时(顶部)和提前排气气门正时(底部)的状态中的压力(左侧)和温度(右侧)。注意，入口温度升高。

[0018] 图12示出了提前排气气门正时的情况中穿过入口歧管气门的质量流速。

[0019] 图13示出了提前排气气门正时的情况中跨过入口歧管的气体速度。

具体实施方式

[0020] 如共同未决的专利申请WO2014/089304中所述，已经开发了用于控制来自火花点火的汽油发动机的颗粒排放的改善途径。这些途径涉及与直接喷射组合的气口燃料喷射的优化使用，其中由气口燃料喷射(PFI)提供的良好混合比直接喷射产生少得多的颗粒排放。在这些途径中，燃料管理系统通过气口喷射的最佳使用来最小化直接喷射的量，同时通过使用直接喷射来最大化发动机性能和效率。

[0021] 使用的基本途径在于通过直接喷射增加引入发动机缸中的燃料的分数，使得其基本等于在发动机操作状态(转矩、速度)变化时抑制爆震所需的量。在全部转矩范围内(或如果不是全部，则在需要直接喷射来防止爆震的转矩范围的高端)防止爆震所需的直接喷射的燃料分数的不断匹配最小化直接喷射的燃料的量。当需要更大的抗爆震性时，直接喷射分数增大，而在需要较小的抗爆震性时，直接喷射分数减小。匹配可遵循整个发动机驾驶周期内的较高转矩操作的上升和下降。在爆震控制不需要直接喷射时，其可设置为零。连同使用将发动机参数关联至所需的抗爆震性的查找表的开环控制的使用爆震检测器的闭环控制可提供匹配直接喷射的燃料的分数的高响应手段，以便在转矩变化时提供所需的抗爆震性。

[0022] 燃料管理控制系统可用于取决于发动机状态和发动机性能要求，仅以气口燃料喷射，或以气口喷射和直接喷射两者，或以仅以直接喷射来操作发动机。

[0023] 此外，燃料管理系统还可通过进行调整来进一步减少颗粒排放，该调整为在颗粒排放特别高时减小了驾驶周期的那些部分期间直接喷射的燃料的分数。驾驶周期的这些部分包括冷启动和驾驶周期的预热发动机部分的某些部分。在驾驶周期的这些部分期间，进行了调整，使得直接喷射的燃料分数低于其它情况下避免爆震的分数。调整包括增大火花延迟和可变气门正时。它们还可包括开放气门气口燃料喷射，其中开放气门气口燃料喷射用于提供汽化冷却来代替直接喷射。

[0024] 颗粒排放的测量示出了它们在发动机启动之后的头100秒左右的冷启动周期期间

很高。最小化在转矩增大时直接喷射的燃料分数且进行调整(诸如增大火花延迟)可能在驾驶周期的该冷启动部分期间的整个转矩和速度范围中特别重要。可变气门正时和/或开放气门气口燃料喷射也可在驾驶周期的该冷启动周期中使用。

[0025] 预热发动机操作(这发生在发动机操作大约100秒左右之后)期间的颗粒排放的测量结果指出了颗粒排放在高转矩和速度水平下特别高。预热周期的高转矩和高速部分期间的燃料管理系统的优化使用可能需要不同于冷启动和某些其它瞬变状态中使用的控制途径。

[0026] 本公开内容描述了用于冷发动机操作和预热发动机操作两者中的颗粒减少的附加途径。

[0027] 为了提供驾驶周期的预热发动机部分期间的控制系统的基础,开发了基于活塞润湿的颗粒排放的模型。该模型然后用于提供附加燃料管理控制来进一步减少颗粒排放。尽管该模型针对预热操作开发,但它还可提供对于冷启动操作的一定程度的适用性。

[0028] 还描述了用于进一步优化气口喷射和直接喷射的组合使用来用于汽油发动机颗粒减少的其它手段。它们包括针对分层直接喷射优化的控制系统操作。分层直接喷射可在低转矩下通过稀释和开启油门操作提供提高的效率,但也增加颗粒排放。

[0029] 这些途径的组合可使得其有可能使驾驶周期颗粒排放从具有优化直接+气口燃料喷射的汽油发动机减小至至少小于相当的仅PFI燃料的发动机的驾驶周期颗粒排放的1/1.2倍,且优选减小至小于相当的仅PFI的发动机的驾驶周期颗粒排放的1/1.1倍。

[0030] 这将使得有可能满足环境法规,而没有增加汽油颗粒过滤器(GPF)排气后处理系统的成本、持久性和效率降低的问题。作为备选,该技术可与GPF排气处理组合使用,以显著降低汽油颗粒过滤器的成本、可靠性、持久性和效率缺陷。此外,与GPF处理组合的该技术可提供大于仅使用GPF系统的颗粒减少。

[0031] 在本公开内容中,还覆盖了由作为减少来自气口燃料喷射的颗粒排放的手段的可变气门正时启用的发动机空气加热的使用的附加方面。

[0032] 颗粒物质产生的壁润湿模型

开发出了来自壁润湿的颗粒物质(PM)产生的简单探索模型。该模型提供了评估驾驶周期的各种时间期间来自气口喷射和直接喷射的组合的变化的颗粒抑制影响的手段。

[0033] 相信来自DI供燃料的颗粒排放的增大主要归因于燃料微滴撞击表面且产生液体膜时的衬套或活塞润湿。存在避免来自润湿活塞和/或衬套的喷雾的手段。可使用具有较低拖曳惯性(因此,更多附接到空气流且不太可能由加速分离)的较小的气雾。雾化微滴所需的压力增大可导致喷雾的增大渗透,但较小微滴与流分离的趋势减小导致燃料的较低润湿分数。还可调整喷射的正时。存在进气冲程中的早期混合改善与活塞和喷射器末梢之间的距离减小之间的权衡。

[0034] 该探索模型假定了PM由于壁润湿生成,且其与活塞上的燃料量成正比(换言之,未采用衬套润湿)。

[0035] 润湿活塞的燃料量取决于壁润湿可能时的时间期间喷射的燃料量。喷雾渗透至活塞的位置花费时间,改变了缸中的总体流型。因此,对于短喷射开启时间,喷雾图案并未使其至活塞,且没有壁润湿。在由于较高负载下的较长喷射时间的较长喷射中,气体图案变化(由喷雾改变),且存在活塞润湿。这里,撞击活塞的燃料速率是恒定的。因此,在该模型中,

活塞上的燃料量遵循燃料喷射的总量的转移线性关系:存在阈值转矩,也称为"负载"或平均有效制动压力(BMEP),低于其,有可能喷射所有所需燃料而无燃料冲击,随后是线性增长,直到达到最高转矩(BMEP)。

[0036] 在进气期间存在限制性曲柄角,其避免冲击。超过进气期间的曲柄角,则没有冲击。类似地,在冲击开始的压缩期间,存在曲柄角。在压缩期间的该曲柄角之前没有冲击,且其后存在冲击。如果喷射发生在两个极限之间,则没有冲击,且很少或没有烟灰形成。

[0037] 图1示出了最大BMEP(平均有效制动压力)的模型计算,其在示范性的一组直接喷射发动机参数和燃料喷射速率(假定为恒定的)导致避免燃料冲击(其对应于上文所述的进气和压缩冲程中的两个曲柄角之间的喷射时间)。BMEP阈值随发动机速度减小而增大,因为存在更多时间用于喷射,这避免了燃料冲击。对于给定尺寸的发动机,BMEP对应于转矩。

[0038] 该模型假定了存在用于喷射的足够短的开启时间(以曲柄角度数),其完全防止壁润湿。由于DI具有燃料喷射的大致恒定速率(由燃料压力和喷射器特征确定),则需要较少燃料导致了减少的喷射器开启时间。在直接喷射(如气口燃料喷射的情况中那样)中,喷射燃料的量通过调整喷射开启时间来控制(使用PWM或脉宽调制)。喷射的开始是良好混合物制备与防止壁润湿(缸衬层或活塞)之间的折衷。

[0039] PM生成测量为喷射正时(喷射的SOI启动)的函数。喷雾以进气冲程中的很早的喷射或压缩冲程期间的延迟喷射来润湿活塞/衬套。为了最小化颗粒生成,喷射不应当早于进气冲程期间导致活塞润湿的,或晚于压缩冲程期间导致活塞润湿的而发生。存在直接喷射不会导致活塞润湿的活塞位置窗口。在具有轻负载和低发动机速度的这些状态下,可存在较宽范围的SOI,其导致最少颗粒物质。

[0040] 颗粒大多数在瞬变(加速)期间和高负载(和冷启动)下产生。

[0041] 颗粒产生与冲击量直接有关。因此,在恒定发动机速度下,存在一个转矩和对应直接喷射量,低于其则没有PM生成,且PM生成在此后线性地增加。因此,减少直接喷射的燃料的量促使颗粒排放线性降低,且低于某一值则很急剧降低。该特征指出了通过在转矩增大时将直接喷射的量增大到仅基本为防止爆震所需的燃料分数来最小化直接喷射的量,则在减少颗粒排放中可存在较大影响。

[0042] 图2示出了在2000rpm下操作的随负载变化的如图1的相同发动机参数下的颗粒产生的计算,其中所有燃料经由直接喷射器引入。颗粒产生的阈值BMEP为大约7barBMEP。高于其,则颗粒产生随喷射为线性的,直到喷射结束,且因此超过阈值BMEP是BMEP的线性函数。

[0043] 图3示出了使用若干发动机速度下的探索模型生成的颗粒物质。对于汽油DI发动机,由于颗粒物质的相对一致的尺寸分布(颗粒物质与数浓度粗略成正比),故颗粒数目的密度与质量之间存在相关的证据。因此,对于该模型的总体含义的评估,假定了图3适用于质量或数密度。

[0044] 图3中示出了发动机排气中的直接喷射生成的颗粒浓度的模型的结果。在较高发动机速度和负载下,颗粒排放的总质量和数目随每次喷射的总燃料增加而增加,且非润湿喷射中允许的时间减少。根据该模型,对于给定的发动机速度,具有增大的BMEP的颗粒物质生成的变化是0到给定BMEP,且然后随增大的BMEP线性地增大。由于对于给定尺寸的发动机,BMEP对应于转矩,故图3也是随转矩和速度变化的颗粒排放的示图。

[0045] 该变化开始发生的BMEP对应于直接喷射到发动机中的给定燃料量。因此,模型指

出了随达到给定直接喷射燃料量的增加燃料量的颗粒排放后接随直接喷射燃料量增加的颗粒的线性上升的开端的平的依存性。由于模型是近似的，故颗粒物质对直接喷射的燃料量的该依存性的有用的更总体描述在于高于直接喷射的燃料量的阈值水平，颗粒排放关于零或接近低于阈值水平的水平经历较大百分比的增大。这称为"阈值增大"。

[0046] 图4示出了发动机图内的以此模型的颗粒排放。PM生成为任意单位。利用该信息，最小化颗粒排放的不同手段可通过比较发动机图来比较，且然后使用发动机图来表达驾驶周期内使用该途径的含义。

[0047] 气体中的喷雾卷吸可改变以上模型。在直接喷射期间，喷雾卷吸在气流中，这防止了对活塞的冲击。在喷射继续时，气流通过与喷雾相互作用来改变，且喷雾到达活塞。如在前一模型中那样，存在期间没有壁冲击的时间。此后，活塞中的喷雾冲击随负载线性地增大(且因此，喷射燃料和喷射时间)。由于喷射燃料与缸中的空气密度之间的比率是恒定的，故冲击活塞的燃料量独立于负载相对恒定。因此，未预计到流卷吸问题将显著改变以上模型。

[0048] PFI和DI的组合使用

使用直接喷射的主要利益在于通过汽化冷却来大体上加强抗爆震性。这在涡轮增压或机械增压的发动机中特别重要。气口燃料喷射的使用使得有可能仅以防止爆震所需的量使用直接喷射。气口喷射和直接喷射的组合的优化控制可最小化直接喷射的量，同时在需要时提供抗爆震性来最大化发动机性能和效率。可利用使用爆震检测和其它传感器的闭环控制以及开环控制两者。

[0049] 上文所述的模型可用于确定组合的PFI和DI操作的颗粒排放，其用于通过将DI使用匹配至防止爆震所需的量来最小化其生成。

[0050] 这使用必须直接喷射以便防止爆震的燃料分数的要求的图来完成。图5示出了使用功能常规汽油且在1.7bar的最大歧管空气压力(MAP)和10的压缩比下的增压DI/PFI发动机的典型结果。如图5中所示，防止爆震所需的直接喷射的燃料的分数随转矩和速度两者变化。在给定转矩下，直接喷射的燃料的分数随速度增大而减小。因此，如果在最高转矩下在低速下的爆震控制需要100%的直接喷射，则需要直接喷射的燃料的分数可在较高速度下小于100%。发动机可在高速下利用100%的直接喷射燃料操作，且在其它速度下利用小于100%。作为备选，其可在整个最高转矩状态中以小于100%的直接喷射燃料操作，其中较少直接喷射的燃料在高速下使用。

[0051] 在图5中假定了气口燃料喷射的燃料以入口气门闭合的常规方式引入发动机中，且因此基本上不产生汽化冷却。模型的结果可用于探索性地描述自然吸气发动机和由涡轮增压或机械增压来增压的发动机两者的颗粒排放行为。

[0052] 图5中假定了没有火花延迟效果。给定平均有效制动压力和速度下的增大的火花延迟将减小需要直接喷射的燃料分数，且因此减少颗粒排放。火花延迟可有选择地用于最小化给定颗粒排放量下的对效率和性能的不利效果。

[0053] 连同图5中的一起来使用估计完全直接喷射的发动机的图内的PM生成的来自图4的信息，其中仅足够的直接喷射燃料用于避免爆震，可计算发动机操作图内的PM生成。通过借助于气口燃料喷射来喷射部分燃料，直接喷射的燃料量减小，且有可能将喷射时间减少到低于活塞上无燃料冲击所允许的最大喷射时间。因此，较高转矩水平可使用，而不超过直接喷射的燃料量，这将引起超过燃料冲击和颗粒排放的阈值水平。

[0054] 因此，除通过减小由直接喷射提供的燃料的分数来线性地减少整个驾驶周期内的颗粒排放外，还有可能将其进一步减少较大量，或可能在操作图的较大区域内根据本模型基本上将其完全消除。这通过燃料管理系统来达成，燃料管理系统控制直接喷射的燃料量，使得其保持低于上文选择的水平，高于该水平，壁润湿将以非线性方式增大，且将存在快速增大。

[0055] 除与图4中的信息组合使用外，图5中的信息也可用于估计驾驶周期内需要直接喷射(以防止爆震)的燃料的分数。对于UDDS驾驶周期，该分数为大约1%。对于积极的US06的驾驶周期，该分数为大约10%。对于组合的城市-高速驾驶周期，该分数为大约5%。该驾驶周期信息可用于在不考虑来自壁润湿的模型的颗粒减少的情况中作出PFI+DI操作对DI操作的相对颗粒排放量的粗略估计。这可为估计冷启动期间减少颗粒排放中的PFI+DI的效果的有用方式。

[0056] 例如，如果DI中的颗粒排放与PFI中的颗粒排放之比为R，则放出的颗粒物质的分数增大的估计为其等于(1-f) + (f * R)，其中f为用于驾驶周期中的直接喷射的燃料的分数。因此，如果R=10且在US06周期中f=0.1，则颗粒排放中的分数增大比PFI排放大0.9 + (10) (.1)或大约2。冷启动排放中的减少可通过各种调整来进一步减少，诸如火花延迟或可变气门正时。对于UDDS和组合的城市-高速驾驶周期，无调整的分数增大将小得多。有可能使用100秒的冷启动周期来将颗粒排放量相比于如果仅使用直接喷射的情况减小超过80%而无火花延迟，且在有火花延迟的情况下减小超过90%。

[0057] 这些估计指出了利用直接喷射的燃料分数的最小化且利用各种调整，使用优化的PFI+DI操作的发动机的发动机颗粒排放可减小到接近PFI发动机的那些的低水平。优化的PFI+DI操作可提供直接喷射颗粒减少，其与由具有大约90%的颗粒除去效率的汽油颗粒过滤器所提供的相当。

[0058] 除壁润湿效果之外，还可存在燃料汽化效果，其还可导致高于转矩和速度的某些组合的颗粒排放的快速增加。燃料管理系统还可使用关于瞬时供燃料速率和发动机速度的信息来作为确定需要控制调整的转矩和速度的值的基础。

[0059] 图6示出了基于图4和5中的信息的涡轮增压或机械增压的汽油DI/PFI发动机的模型的结果。BMEP是诸如允许在不使用直接喷射的自然吸气的发动机内尺寸减小至1/1.7。压缩比为10。使用的DI燃料的量通过在给定的转矩和速度值下将该量与防止爆震所需的量匹配且由PFI提供其余燃料来最小化。没有假定火花延迟的变化。颗粒排放的最小化通过将直接喷射的燃料分数与至少在直接喷射的燃料量将另外大于阈值水平的转矩和速度范围内防止爆震所需的分数匹配来获得。

[0060] 该模型示出了由于颗粒排放对于直接喷射的燃料量的依附性(等同于转矩和速度的组合)和必须直接喷射来防止爆震的燃料分数的依附性的组合，故颗粒排放具有与BMEP(或等同于转矩)的依附性。对于模型中使用的一组假定，有可能在最高负载下略微减少PM生成，且通过操作图的大部分来完全消除它们。

[0061] 该模型用于确定UDDS和US06周期的排放。这些模型结果意在更多用作优化颗粒控制而非提供发动机操作的准确数值的总体方针。颗粒减少可通过使用火花延迟和其它调整来调节至期望水平，以获得实际发动机操作的期望颗粒减少。对于给定发动机速度，存在阈值转矩，高于该阈值转矩，颗粒排放的阈值增大出现。该阈值转矩可随火花延迟增大。诸如

可变气门正时的其它调整也可用于增大阈值转矩。

[0062] 结果在表1中示出。计算也不包括未由模型采集到的冷启动期间生成的PM。它们也不包括增大火花延迟的效果。

[0063] 基于该模型，由于UDDS是此轻负载周期，故其不会导致任何颗粒排放，即使在整个驾驶周期中仅使用DI的情况下。相比之下，对于仅使用DI的US06周期中存在相对大的颗粒排放，且这些排放通过以气口燃料喷射替代直接喷射来显著减小。表1示出了颗粒排放相对于仅使用DI减少90%以上。火花延迟的使用可显著进一步减小使用PFI/DI的US06周期中的颗粒排放。基于未使用火花延迟的情况中的这些模型结果，以及火花延迟可在减少必须直接喷射以便防止爆震的燃料分数中的较大影响，预热发动机操作期间的颗粒排放水平可相对于仅使用直接喷射减少至少90%。

	DI	PFI/DI
UDDS	0.00	0.00
US06	1	0.07

[0064] 表1：用于UDDS和US06驾驶周期的仅DI和PFI/DI的相对颗粒物质数目。

[0065] 必须直接喷射以便防止爆震(边界线爆震)的分数在图7中对于UDDS和US06周期两者示出，又针对了尺寸减小至大约1/1.7。图7中示出了用于该周期的瞬时燃料使用，其作为周期期间的时间的函数(对于UDDS是大约1400s而对于US06是600s)。UDDS中存在很小的DI，且因此活塞上存在很小的冲击。

[0066] 模型结果示出了由于阈值效果，通过将直接喷射的燃料分数与其中防止爆震所需的直接喷射的整个范围中防止爆震所需的分数不断地匹配来最小化直接喷射的使用可对颗粒减少具有较大影响。

[0067] 控制系统调整

除通过将直接喷射的燃料分数与转矩和速度变化时防止爆震的要求匹配且因此最小化其使用来减少颗粒外，还存在可进一步减少预热发动机操作中的颗粒排放的许多其它控制特征。

[0068] 如图6中的模型结果中所示，可对转矩和速度的某些值进行调整来减小直接喷射的燃料分数，以便增大转矩，在此转矩下，颗粒排放开始通过活塞润湿的开端而快速增长。这减小了活塞润湿导致显著颗粒排放的转矩速度区域。调整减小了需要的燃料的直接喷射分数。它们包括但不限于增大火花延迟、可变气门正时和/或开放气门气口燃料喷射。

[0069] 燃料管理系统可操作成以便在由调整使用所提供的给定量的驾驶周期颗粒减少中最小化驾驶周期燃料效率降低。该调整将在一定范围的转矩和速度中使用，这里，其在给定的驾驶周期效率给定降低下提供颗粒排放的最大减少。

[0070] 调整的水平可与转矩增大时防止爆震的需要匹配，而不增大直接喷射的燃料量。例如，火花延迟的增大可在给定转矩范围的低转矩端处使用，且在转矩增大时继续增大，以便防止爆震。

[0071] 调整还可用于在活塞润湿发生时减少颗粒排放，且颗粒排放对于直接喷射燃料量存在线性依附性。

[0072] 可进行的另一个调整在于暂时地增大喷射器中的燃料的压力。这通过实现若干目的来提高该PM减少的机会。由于较高的燃料压力，故输送速率增大。在较短的喷射时间中，活塞润湿可完全避免，但有最大负载和发动机速度。增大的燃料压力还导致较小的微滴。较小的微滴蒸发较快，且更可能卷吸在流中，而不是由于气体在固体表面之前转向时的离心加速引起的与流分离(由于惯性力)。直接燃料喷射器的压力的暂时增大可在其在减少颗粒排放中具有最大影响时使用。实例是高转矩状态中和高转矩和速度的状态中的使用。

[0073] 分层喷射

尽管上文所述的模型结果和控制途径针对以一致方式喷射到发动机缸中的直接喷射的燃料，但它们也可应用于分层直接喷射。分层直接喷射用于通过便于低负载下的稀释和开启油门操作来提高效率。

[0074] 在低负载下，燃料可由分层DI或主要由分层DI来完全供应。因此，在低负载下，由DI提供的燃料分数将远大于零或在此低转矩区域中防止爆震所需的DI的小燃料分数。在转矩增大时，爆震将通过使用高分数的DI或DI的全部使用来防止。然而，在充分增大的转矩和速度值下，DI燃料的所需喷射时间变为使得活塞润湿除非一些PFI替代DI燃料才能发生，以防止壁润湿。由直接喷射提供的燃料分数然后将减小，以减少直接喷射的燃料量，且防止壁润湿。在更高的负载下，爆震约束导致了DI燃料需求增大，其中结果在于有限的壁润湿将发生，且颗粒排放将发生。

[0075] 图8示出了针对分层直接喷射的此类供燃料方案中的随转矩变化的DI燃料与PFI燃料之比。在较低转矩值下，DI/PFI比由减小PM排放的约束确定。高于某一转矩值，防止爆震的需要是主要约束，且所得的较高直接喷射燃料量增大颗粒排放。

[0076] 除爆震抑制外的DI的另一使用在于其用于很准确地计量PFI用于稳态或缓慢改变的发动机操作的同时的快速变化期间喷射到缸中的燃料量。DI可用于改善的燃料计量允许燃料的更精确输送的瞬变期间的优化控制，避免了通常从PFI需要的富集的需要，以便达到功率的显著提高。PFI中的颗粒信息通常由富操作周期确定；其可通过瞬变期间的DI最小化，利用PFI/DI分流的缓慢调整。

[0077] 冷启动

减少发动机启动之后100秒左右的冷启动周期期间发生的颗粒排放可由于两个因素而比预热操作中更容易进行。首先，大体上将存在驾驶周期的该冷启动部分中防止爆震将需要的较低的平均直接喷射燃料分数，因为冷启动驾驶将不如发动机预热时的驾驶那样积极(较少高转矩操作)。冷启动驾驶中的代表性的驾驶周期可与UDDS周期相当，其中如前文所述，平均直接喷射分数为大约1%，且相对于PFI操作的颗粒排放分数增大仅将小于1%。

[0078] 很高颗粒排放中的冷启动周期期间转矩增大和减小时最小化用于防止爆震的DI的分数因此可足以将颗粒排放相对于仅使用DI减小至小于20%且优选地小于10%。

[0079] 第二，如果这不足，则冷启动的短时间持续时间和所得的对调整(诸如火花延迟)的整个驾驶周期发动机效率的小影响可允许调整的更大使用，以进一步减小在给定转矩和速度值下直接喷射的燃料分数，以便提供从其它情况下的直接喷射使用和颗粒产生的较大减少。

[0080] 燃料管理系统可操作成使得在很高颗粒排放发生的冷启动时段期间由直接喷射提供的缸中的平均燃料分数在转矩增大时通过最小化直接喷射的使用来限制为小于选择

的值，而无火花延迟中的变化(或另一调整)；或如果需要，则增大的火花延迟引入来通过减小防止爆震所需的直接喷射的燃料的分数来达到此限制。在100秒的驾驶周期的冷启动部分期间，由直接喷射引入的缸中的燃料的平均分数控制成小于其在预热操作中的。

[0081] 火花延迟的量可通过查找表或通过闭环控制来控制。火花延迟可在驾驶周期的全部或部分期间处于恒定水平，且可随转矩变化而变化。

[0082] 当发动机操作需要针对冷缸、冷排气处理催化器、冷歧管和很高水平的颗粒调整时，冷启动周期可在不同持续时间内发生。针对减少冷启动直接喷射颗粒排放优化的发动机调整(诸如增加的火花延迟的使用)的持续时间可由设置时间、查找表或发动机传感器确定，传感器监测参数，其包括但不限于发动机冷却剂温度。很高颗粒排放发生的冷启动周期通常大约是发动机操作的头100秒左右。该冷启动周期可比用于排气处理的催化器需要加热的冷启动周期更长。

[0083] 使用火花延迟，有可能在100秒左右的很高颗粒产生的冷启动周期期间单独或几乎完全使用气口燃料喷射。燃料管理系统将限制火花延迟量，使得高水平的火花延迟将不会引起失火。失火检测器可用作该控制的输入。还可利用使用查找表的开环控制以及使用爆震检测器的闭环控制。燃料管理系统可控制火花延迟，使得在冷启动期间的至少一些时间，火花延迟增大，以便提供直接喷射的燃料分数的最大减小，而不产生失火。

[0084] 还可使用其它调整或多个调整，诸如可变气门正时和/或开放气门气口燃料喷射。由开放气门气口燃料喷射提供的汽化冷却抗爆震性可用作直接喷射的备选方案。相同的燃料喷射器可通过改变正时来用于闭合和开放气门气口燃料喷射两者。

[0085] 这些调整将在燃料管理系统使由直接喷射提供的燃料分数与在转矩和速度变化以便需要更大抗爆震性时防止爆震所需的增大匹配、以及匹配在转矩和速度变化以便需要较少抗爆震性时所允许的减小的冷启动周期的至少一部分期间进行。

[0086] 100秒的冷启动周期或较高颗粒排放发生下的供燃料方案可使用通过气口燃料喷射来将燃料引入至少一个缸中，且在燃料由直接喷射引入的情况下，如果需要，以便在转矩增大时防止爆震。当转矩增大时，直接喷射的燃料的分数可增大，以便匹配防止爆震所需的量(且因此最小化直接地喷射的燃料的分数)。火花延迟也可在该冷启动周期的至少一部分期间增大，以便防止另外发生的爆震。在驾驶周期的冷启动部分中的最高转矩值下，发动机可仅以气口喷射或以气口和直接喷射的组合操作，其中由直接喷射提供的燃料分数通过增大的火花延迟和/或另一调整(诸如可变正时气门)的使用来减少。可变气门正时还可在该冷启动周期的至少一部分期间与增大火花延迟一起使用。火花延迟和其它调整可基于颗粒排放的较大阈值增大发生的转矩和速度来控制。

[0087] 100秒左右的冷启动周期期间针对很高颗粒排放使用的附加调整在于在该周期的至少一部分期间暂时地增大直接喷射器的压力，以便减少颗粒排放。冷启动周期的相对较短的时间周期可便于该调整的配置。

[0088] 另一调整在于限制由涡轮增压或机械增压发动机使用的增压量。这减少了必须直接喷射的所需燃料分数。

[0089] 由于在驾驶周期的冷启动部分期间可仍存在来自PFI的显著PM排放，故还可能需要使用减小这些排放的手段。一个途径在于使用来自如下文所述的发动机压缩的空气加热。空气加热还可用于减少来自直接喷射的颗粒排放。

[0090] 燃料管理系统优化

图9中所示的控制系统100可用于控制调整，使得颗粒排放水平满足法规，同时保持驾驶周期内的效率降低小于选择值。由气口燃料喷射器120和直接喷射器130喷射到发动机140中的来自燃料箱110的汽油量通过使用包括直接喷射到发动机140中的燃料量的信息以及包括但不限于直接喷射器脉冲长度和失火检测的其它输入来控制。

[0091] 控制系统100还控制各种发动机操作调整，其影响防止爆震所需的直接喷射的量。

[0092] 控制系统100还可使用调整来限制从调整的效率降低，使得其不大于选择值，且/或使得性能降低不大于选择值。控制系统100可使用查找表，其提供信息，调整(调整的类型、驾驶周期的什么部分，以及使用多少)的组合按信息提供给定颗粒减少下的最低效率降低。发动机可在高于颗粒产生的阈值以及低于其的时间下操作。

[0093] 控制系统100还可用于使用优化的气口+直接喷射来通过经由通过最小化DI使用的低负载下的EGR(内部或外部)的较大使用的稀释操作来获得较好的发动机效率。最小化DI使用还可用于通过延伸以贫燃料/空气混合物在低负载下的操作的极限来提高效率，因此提供了提供稀释操作的附加方式。控制系统100还可用于通过最小化给定转矩和速度下的防止转矩增大时的爆震所需的直接喷射量来在高速度和高转矩下提供较好燃料控制，而不有损效率和性能。

[0094] 直接喷射量通过将其水平与转矩和速度变化时防止爆震所需的量匹配来最小化。可变气门正时可用于增大抗爆震性，从而减少直接喷射的燃料分数，且可改变内部EGR水平来提高效率。

[0095] 本文所述的途径可使得有可能使用气口和直接喷射的组合来将颗粒排放减小到将满足严格的未来法规而不使用汽油颗粒过滤器的水平。它们还可使得其有可能满足该目标，而不需要来自使用颗粒测量传感器的瞬时测量结果或用于测量一定时间内的颗粒排放的传感器的其它使用的闭合反馈控制。

[0096] 在冷启动周期期间，控制系统将通过使直接喷射的燃料的分数与防止爆震所需的量匹配的组合来达到颗粒排放的充分减少。此匹配将使用来自爆震传感器的闭环控制，且还可使用开环控制。开环控制的使用可在瞬变期间特别重要。此外，火花延迟可用于进一步减少使用的直接喷射的量。增大的火花延迟量将由爆震检测器和由失火检测器控制。

[0097] 火花延迟的量将由不失火的要求限制。最大火花延迟可按预设方式使用，以便最小化使用的直接喷射量。该冷启动操作的长度可由预设时间或由发动机温度的测量来确定。火花延迟的使用可由直接喷射的燃料分数确定。如果该分数基于使颗粒排放与直接喷射的燃料分数关联的查找表变得太高，则使用火花延迟。查找表可通过来自测试发动机的颗粒排放的测量来确定。它还可由发动机模型的结果来确定。

[0098] 在驾驶周期的预热发动机部分期间，最小化直接喷射的燃料分数将通过防止爆震所需的分数的匹配来达成。匹配将使用利用爆震检测器的闭环控制，且还可使用利用查找表的开环控制。使用查找表的开环控制可在包括转矩快速变化的瞬变期间以及在发动机关闭和重启期间尤其重要。火花延迟和(如果需要)其它调整(诸如可变气门控制)可用于通过减小直接喷射的燃料的分数来进一步减小颗粒排放。这将防止直接喷射的燃料量超过直接喷射的燃料量的阈值来产生颗粒排放的较大百分比的增大。

[0099] 火花延迟或使用的另一调整的量将由直接喷射的燃料量或由推导的参数和查找

表，基于阈值发生时的校准模型的使用来确定。火花延迟的量和可能的其它调整可按优化方式使用来最小化给定量的颗粒减少中的效率和性能的任何降低。

[0100] 作为备选，在驾驶周期的预热部分期间，火花延迟可利用关于发动机转矩和速度的信息来控制，以便在给定速度下增大转矩，在此速度下，颗粒排放中的阈值增大将另外发生。

[0101] 附加的控制特征是防止壁润湿所需的约束下的DI喷射的时机。DI喷射设置成使得喷射开始(SOI)和喷射结束(EOI)调整成以便防止壁润湿。在喷射持续时间小于将导致壁润湿(由于进气冲程期间的较早壁润湿或压缩冲程期间的较迟壁润湿)的最大喷射持续时间的情况中，喷射时机在避免壁润湿的限制时间内调整。较早的喷射导致较好的混合，而较迟的喷射导致更分层的排放，这将有益于避免失火或爆震。

[0102] 作为消除汽油颗粒过滤器来满足减少颗粒排放的要求的需要的备选方案，这里所述的气口+直接喷射燃料管理系统可与汽油颗粒过滤器组合使用，以提供比单独利用汽油颗粒过滤器获得的颗粒排放更大的减少。此外，该组合还可降低成本，且缓解汽油颗粒过滤器系统的可靠性和效率降低的缺陷。

[0103] 用于颗粒控制的PFI和DI的组合可用于降低汽油颗粒过滤器所需的颗粒减少的要求；由过滤器需要的控制程度；其使用的状态范围；以及其持久性。它们还可消除对颗粒排放的即时监测的需要。

[0104] 由可变气门正时启用的发动机空气预热

从优化的气口+直接喷射的颗粒排放的进一步减少可通过减少气口燃料喷射颗粒排放来获得，尤其是在冷启动下。

[0105] 冷启动颗粒物质排放中的重要因素是燃料的较差汽化。空气是冷的，且所以缸壁(衬套和活塞)、入口歧管和入口气门也是。如果空气温度可升高，则汽化可改善且排放减小。提供空气加热器由于瞬变性质而不是实际的，其中加热器在真正需要之后很久才有效。

[0106] 加热空气不需要很多功率，但如果其通过与表面接触来加热(例如，常规加热器)，则加热器的热质量占优势，且导致长瞬变。对于由发动机压缩的预空气预热，可变气门正时的使用意在解决此问题。发动机压缩可提供空气预热的很有效的手段。该途径通过可变气门正时中进行的进展来启用。

[0107] 有可能在冷启动期间加热缸充气，以最小化排放，包括烃类气体排放和颗粒排放。由于与排放气体接触的冷壁，故冷气体温度可导致较差的燃料蒸发，且有助于较大的燃料过量来补偿较差的蒸发。过量燃料导致驾驶周期内的总烃类排放的较大分数，以及颗粒的较大分数。

[0108] 加热气体所需的功率不高；然而，由于换热器的有限热容，故由固体元件输送能量至气体中存在较大延迟。到这些元件加热时，冷启动周期可能是结束的。

[0109] 输送加热的备选手段是通过气体的压缩加热。在缸中，在气体压缩期间，也存在相关联的加热。如果气门在冷启动周期期间具有足够的调整权限，则有可能加热缸中的气体且使它们再循环回到入口歧管，在该处，它们可汽化燃料且减少所需的节流量。

[0110] 该途径使用发动机模拟器来模拟。图10示出了两个状态期间随曲柄角变化的气门升程。第一个是气门正时的正常值。第二个针对高度提前的排气气门开度(和对应的早期排气气门闭合)。对于该模型，压缩比假定为9，且发动机操作速度为200rpm。入口气体温度以

及来自排气的逆流假定为280K。

[0111] 为了研究气体加热的潜力，排气气门正时较大地提前。气体温度和缸压力的状态在图11中针对正常排气气门正时和提前正时两者示出。在周期的排气部分期间，排气气门较早闭合，允许了仍在缸中的气体压缩和加热。压缩的热气体然后在高速下离开缸，在入口气门的开启的较早阶段期间进入入口歧管，且然后在入口歧管中的一些燃料汽化之后在周期的进气部分期间再进入缸。加热可大于30K。在图11中采用的情况中，加热为大约50K。注意在正常气门正时的第一情况中，由于缸充气与冷缸壁之间的热交换，故周期的底部处的气体实际上比入口期间略冷。

[0112] 需要较大的功率来驱动压缩。对于具有正常排气气门正时的图11中所示的情况，对于具有93mm开孔和81mm冲程的缸，周期所需的功率为大约10W(正常排气气门正时)。对于用于空气预热中的提前排气气门正时，优选的是曲柄功率为至少100瓦，且小于1000瓦。优选的是，该曲柄功率将由12伏电池提供，其向车辆中的其它功能提供功率。然而，其可由附加的12伏电池或由混合动力车辆中使用的较高伏数的电池提供。

[0113] 对于图11中的情况，大约50K的加热由40曲柄角度数(CAD)的提前排气气门正时提供。曲柄功率为140W，主要进入气体的压缩而非加热。如果改为排气气门是提前30CAD，则功率减小至大约100W，但加热仅为大约20K。优选的是，排气气门正时提前至少30曲柄角度数，且小于60曲柄角度数。

[0114] 入口歧管压力假定为0.5bar，而排气压力假定为1bar。有可能在各个缸的单个周期中执行该非燃烧气体加热循环，后接常规周期。在非燃烧气体加热周期之前，没有燃料加入入口歧管，且火花未使用或无效，因为没有燃料。第二周期是在入口气门开启之前喷射的燃料的常规燃烧。以此方式，较好的空气/燃料制备可在气口燃料喷射中实现，其将在冷启动期间减少颗粒和烃类的排放。

[0115] 该技术还可用于利用加热气体的直接喷射，其中直接喷射在第二周期期间发生。

[0116] 可能在该模式中具有若干操作周期，其中非燃烧气体加热周期后接发动机完全预热之前的功率周期。

[0117] 图12示出了从缸回到热气体的入口歧管的很大质量流量。跨过气门的流速是音速，因为扼流针对图10到13中所示的状态形成(可通过调整气门升程轮廓和其正时来调整，以设置期望的倒流过程)。

[0118] 缸中的空气的压力导致压缩周期期间或排气周期期间的加热(如果排气气门调整)，使得防止空气离开缸。在该构想中，具有或没有可变气门升程的可变气门正时在发动机启动期间使用，以将空气吸入缸中，且然后在较高温度下发送回到入口歧管(逆流)，其中其可用于协助燃料的汽化。在该非燃烧空气加热周期中，没有燃料由供燃料系统引入缸中，且来自火花塞的火花并未使用。在发动机燃烧启动之前或供燃料过程期间(由气口燃料喷射)，加热空气改善了沉积在入口气门上的燃料的汽化。

[0119] 在膨胀周期期间，存在缸充气的冷却。如果系统完全可逆(即，绝热)，压缩周期之前的空气的初始温度将与膨胀周期结束时的温度相同。由于壁的损失，故其略微较低。实际上，图10示出了该情形。在正常排气气门正时的情况下，注意膨胀冲程之后的下死点处的气体的温度显著低于入口温度，实际上到30K那样多。在提前排气气门正时的情况下，入口歧管的温度(320K)实际上高于外侧温度(280K)。倒流期间的温度可高达500K。应当注意的是，

图10-13中的计算针对"稳态"计算，以示出技术的潜力，但甚至在瞬变情况中，趋势也相似。

[0120] 该分析示出了接近入口气门的区域中的气体的温度可增大超过150℃，甚至在发动机已经点火的情况中，这改善了气门上的燃料的蒸发，以及流回气体的速度的较大增大(达到扼流条件)。

[0121] 存在发动机空气加热的若干实施例。一个优选实施例在于排气气门正时大致提前。在此情况中，如图10-13中示所示，预热空气可再引入入口歧管(倒流)。逆流的空气量可在有或没有可变气门升程的控制的情况下由气门正时的控制来控制，且由排气气门正时控制。预热的量通过气门的开度的正时来控制。缸中的压力将高于入口歧管中的压力，且预热的热空气将在高速下流过气门开口(其可由可变气门升程控制)。在图10-13的情况中跨过入口气门的压差为大约6bar。不需要具有此高值，因为其导致增大的功率需求。较低压力将对应于逆流的较低温度和较低功率需求两者。气门升程还可调整成控制逆流时间(在缸充气回到入口歧管时)期间以及进气期间在入口歧管中的空气回到缸时穿过气门的流动的速度。高气体速度将有助于汽化入口气门上的燃料膜。将存在由相互作用生成的喷雾，其中微滴撞击入口歧管的壁，但该质量将在随后的周期中再进入缸中(或在入口歧管预热之后)。

[0122] 由于发动机在第一周期和用于加热的随后周期期间无火花，故将有可能将发动机操作为2周期的发动机。这将需要气门的较大控制，这可能不实际。另一方面，如果排气气门停用(保持闭合)，则将有可能的是仅调整入口气门正时，使得热空气可在压缩周期和将为排气周期的周期两者中流回入口歧管。

[0123] 尽管以上描述并未涉及压缩气体加热循环期间的火花，但还有可能在压缩气体加热循环期间使用火花，以便达到在缸中的任何燃料的有限燃烧，诸如前一发动机操作中留下的燃料(且由此从部分燃烧中得到附加加热)。如果缸充气(具有未燃烧的燃料且具有自由氧)冲回入口歧管，则其将取得附加燃料且与一些新鲜的氧混合。在不完全燃烧的混合物发送回入口歧管时，排放最小化。

[0124] 尽管描述针对一个压缩气体加热周期，将后接火花周期，但有可能针对两个或更多个周期重复非火花状态，以进一步改善第一完全火花周期期间的适当燃烧的可能性，且还在整个冷启动过程期间减小排放。在火花周期的情况中，对于冷启动周期期间的一些周期，调整排气气门可用于使热气流反向进入入口歧管，改善了燃料的蒸发。温度将较高(由于缸中的燃烧)，且因此将需要较低量的倒流。这里，发动机是自动驱动的，且不需要外部供应的功率。排气气门正时在发动机燃烧空气/燃料混合物以及缸和入口歧管预热时调整。

[0125] 尽管上述计算假定了倒流再进入其离开的同一缸中，但有可能通过气门正时、入口歧管压力和其它的适当调整使用来自一些缸的倒流来进入发动机的其它缸中。假定了在第一周期中，缸处于大气压力下。在入口歧管中的减小压力下，有可能具有一些缸来提供进入缸中的空气的较大分数。

[0126] 以上计算针对没有燃烧的周期。有限数目的燃烧周期还可与提前排气气门开启和闭合一起使用。除提供热气体来通过入口歧管中的倒流改善燃料的蒸发之外，较早的排气气门开启允许了排气中的高温气体的放出，有助于催化器加热。

[0127] 不同实施例为排气气门完全停用(限定为保持闭合)。

[0128] 对于排气气门并未停用的这些状态，有可能在排气周期(其中排气气门闭合)开始期间使入口气门开启，即，具有很延迟的排气气门开启。作为备选，有可能通过排气气门的

较早闭合来实现排气中的残余空气的压缩。在此情况中，缸中的残余空气将压缩，随后入口气门开启。

[0129] 气门升程可对于入口和排气气门不同，其中排气气门升程小于入口气门升程。有可能调整排气气门升程，使得存在气体的较大压缩，其中预热气体的较大分数在排气周期期间通过排气气门的很小升程进入入口歧管。气门升程也可调整，作为启动阶段期间的一组值和预热阶段期间的不同的一组值。入口气门或排气气门或两个成组气门可具有可变气门升程。

[0130] 空气的发动机压缩预热也可用于组合的气口燃料喷射-直接喷射系统，其中气口燃料喷射替代直接喷射，以便减少颗粒排放。对于冷启动期间的组合的气口燃料喷射和直接喷射的使用，即使可较大地减少直接喷射的量，来自气口燃料喷射的颗粒排放也较大。在气口燃料喷射期间用于较好空气/燃料准备和减少颗粒排放的发动机压缩加热空气的使用因此可对DI发动机具有显著的影响，其中气口燃料喷射用于减少颗粒排放。

[0131] 在优选实施例中，冷启动过程期间没有气门重叠。因此，甚至在入口气门开启和排气气门闭合两者提前时，入口气门开启应当比排气气门闭合进一步提前，以便允许热空气经由入口气门离开。

[0132] 各个缸中的第一周期可用于预热空气，其中缸中的空气未燃烧(即，非燃烧气体加热周期)。没有燃料的多个周期也可用于在燃料引入缸中之前调节空气。具有不同于预热发动机操作的气门正时的非燃烧周期的数目可由使用查找表的开环控制或由来自测量参数的传感器的信息(包括发动机温度和各种类型的排放)的闭环控制来控制。

[0133] 一旦引入燃料，则燃烧气体可引入入口歧管，同时保持提前的排气气门开启。热气体可用于便于燃料蒸发。然而，较大水平的残余物现在将存在于缸中。然而，较好的燃料/空气准备和增大的充气温度可减轻增加残余物的效果。作为备选，在燃料喷射之后，发动机可穿过整个周期操作而无燃料，在此情况中，经由入口气门流回的气体主要是空气(因为燃料不存在或在前一周期期间最少引入缸中)。

[0134] 该途径的缺陷在于发动机在所有缸的第一周期期间并未启动，且其将在发动机用作空气压缩机/加热器时需要一些附加功率。然而，排放将较大减少。对于一些其它应用，可能需要加入附加的电池容量。该途径特别好地适于解决来自混合动力车辆的排放，混合动力车辆在启动期间具有较大的电力可用性。发动机启动并未在车辆开始移动时的同时发生，因为电驱动可在该时间使用。

[0135] 系统可用于减少烃类气体的排放和冷启动期间的颗粒形成。为了尝试适当点燃所需的燃料富集可显著减少。

[0136] 由于逆流空气/燃料比正常启动下大致更热，故有可能使气口燃料喷射与直接喷射组合，以便达到适合的混合物形成。较热的空气可有助于汽化直接喷射的燃料。直接喷射可用于缸的空气/燃料化学计量的较好控制。可由火花延迟加强的连同气口燃料喷射替代直接喷射的该途径可在包括涡轮增压或机械增压的发动机的直接喷射发动机的冷启动期间在减少颗粒排放中具有较大影响。

[0137] 多次火花可使用，以便在使用可变气门正时的冷启动期间得到加强的点火。

[0138] 冷启动期间应用气门正时和升程的问题在于大多数汽车厂商使用液压流体来用于这些调整，且气门正时/升程系统在发动机启动周期期间的短时间内不操作(例如，几秒

和达到至少一秒)，因为油泵需要时间来累积油压。

[0139] 存在若干选择来解决该问题，且提供排气气门的较早闭合。第一个在于使用全电动气门正时(如同发动机气门VEL和其它)，或仅电动气门正时协助。尽管存在可变升程的优点，但可变正时可能更重要且可能足够。然而，连同可变气门正时的可变升程可用于控制离开缸进入歧管的流，以最小化压缩气体所需的功率(即，保持缸与入口歧管之间的适当压差)。例如，有意义的是最小化进入排气歧管的流，且改为将其较大的分数再引导到入口歧管中。如果压差高，则扼流条件可对于进入入口歧管的倒流形成。然而，倒流可为扼流或非扼流。

[0140] 作为备选，气门正时可调整成使得在没有油压的情况下，排气气门正时提前。一旦油压力累积，且发动机开始加热，则排气气门正时调整为"正常"位置。该途径的缺点在于，液压装置在比气门正时调整使得在预热状态期间需要较小劳动时的情况中更高的压力和功率要求下操作。

[0141] 另一个选择在于设计双重稳定的凸轮，其具有两个稳定操作点，操作点不需要较大液压动作，但需要从一个稳定模式切换到另一个的液压动作，或在常规操作期间调整气门正时。

[0142] 另一个选择在于使用电驱动的油泵。车辆的电气化导致了一些制造商制作电驱动的油泵。由于发动机不必在操作速度下(空转或较高)，则有可能在快得多的时间规模下累积油压，允许了发动机启动的初始阶段期间的气门正时的液压控制。可保持常规气门正时，其中气门液压地调整。电驱动的油泵可在启动周期时间期间且不在驾驶周期的其它时间使用。

[0143] 可变气门正时/升程的使用可用于在稳态期间以及在冷启动期间控制颗粒排放。具体而言，不同于颗粒排放随增大的EGR(排出气体再循环)增大的柴油机，在汽油直接喷射发动机的情况中，颗粒排放(颗粒数目和总质量两者)通过使用EGR(外部EGR(冷却的)或热EGR(内部的))减小。内部EGR可大致比外部更多地减少来自汽油直接喷射发动机的颗粒。因此，通过调整气门重叠，可变气门正时的使用可显著地减少颗粒(质量和数目两者)。用于以内部EGR减少颗粒排放的机制可归因于增大的燃料蒸发速率(缸中的较大充气和较高温度)和减小的喷雾渗透两者。通过气口燃料喷射(其可通过避免燃料的蒸发冷却来提供缸中的较高温度)增大EGR的容限进一步减少来自DI发动机的颗粒排放。即，随EGR(和优选的内部EGR)增大而增大的气口燃料喷射减少来自双重喷射发动机的颗粒排放。

[0144] 除以汽油供燃料的发动机外，该途径可用于由乙醇或甲醇供燃料的发动机，其中启动和冷启动排放可比汽油发动机或甚至天然气得到更大关注。一个应用是使用高浓度的乙醇或甲醇的发动机，包括来自甲醇的甲醛气体排放的减少。此外，天然气发动机中的冷启动也可受益于该途径。

[0145] 该技术可用于静止发动机以及道路和非道路车辆。

[0146] 该技术还可用于柴油机启动。在此情况中，不存在节流，且入口歧管上没有燃料，但加热的气体应当有助于后续周期中的柴油燃料的可点燃性。

[0147] 发动机压缩空气预热也可有助于难处理的启动状态。尽管发动机由于燃料未引入而并未在第一周期或一些周期启动，但发动机在燃料引入时将具有很高的启动概率。

[0148] 发动机压缩空气预热的使用或未使用可由使用传感器输入的闭环控制或开环控

制来确定。控制系统可使用感测或推断的信息，其包括发动机温度和颗粒排放。在不再需要发动机压缩预热时，控制系统将气门正时和升程变为适用于常规驾驶操作的值。

[0149] 用于空气加热来减少排放的压缩的使用可能对于减小尺寸的发动机特别有吸引力，其中减少了发动发动机的功率量。

[0150] 除小车和卡车发动机之外，该途径可用于其它火花点火的发动机，包括但不限于剪草机发动机、船舶发动机、雪地车发动机、摩托车发动机、飞行器发动机和用于发电的发动机。

[0151] 有可能在车辆和上文提到的其它产品的现有发动机和工厂生产的发动机的改造中使用该途径。如果发动机管理系统具有足够的权限来显著调整排气气门，则该过程可在现今的车辆中用作减少冷排放(烃类和颗粒)的手段。

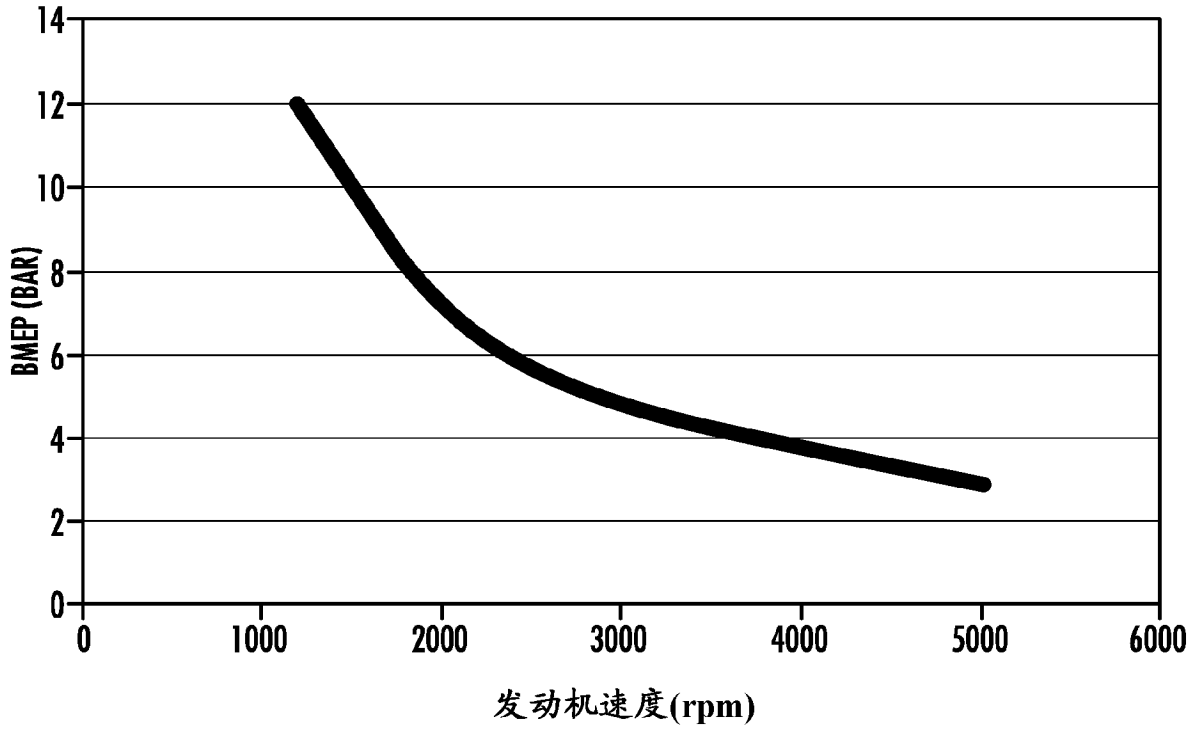

14
12
10
8
6
4
2
0
BMEP (BAR)
0
1000
2000
3000
4000
5000
6000
发动机速度(rpm)

图 1

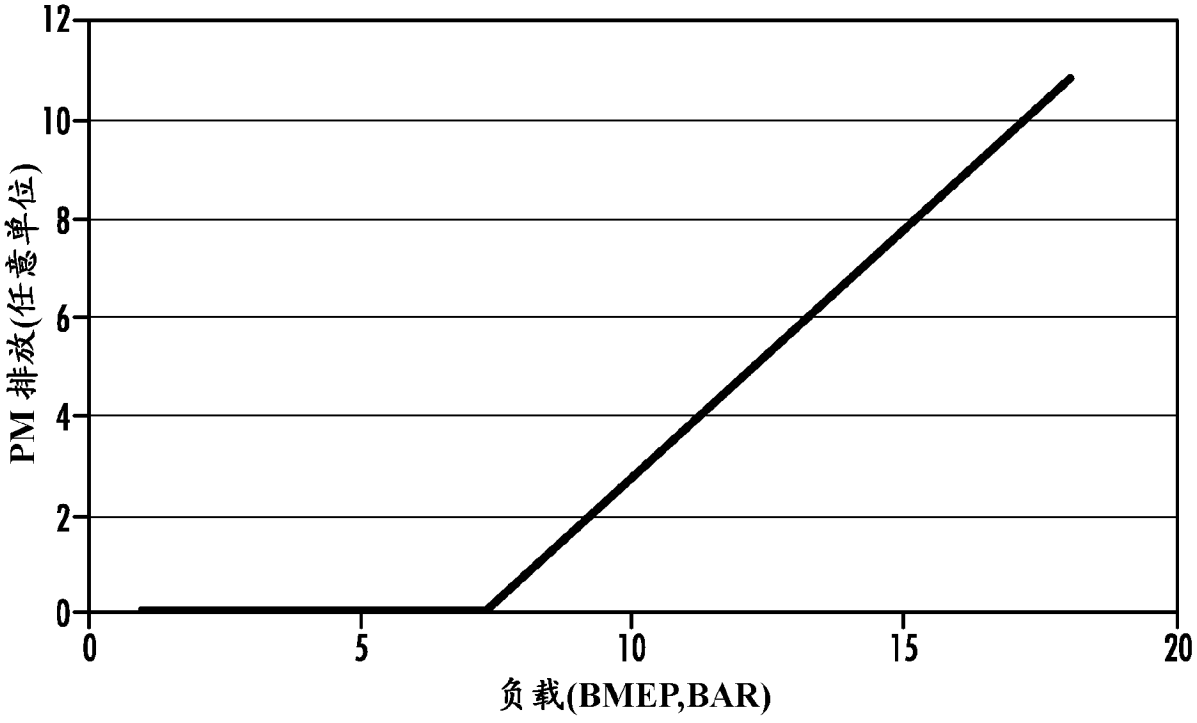

12
10
8
6
4
2
0
PM 排放(任意单位)
0
5
10
15
20
负载(BMEP,BAR)

图 2

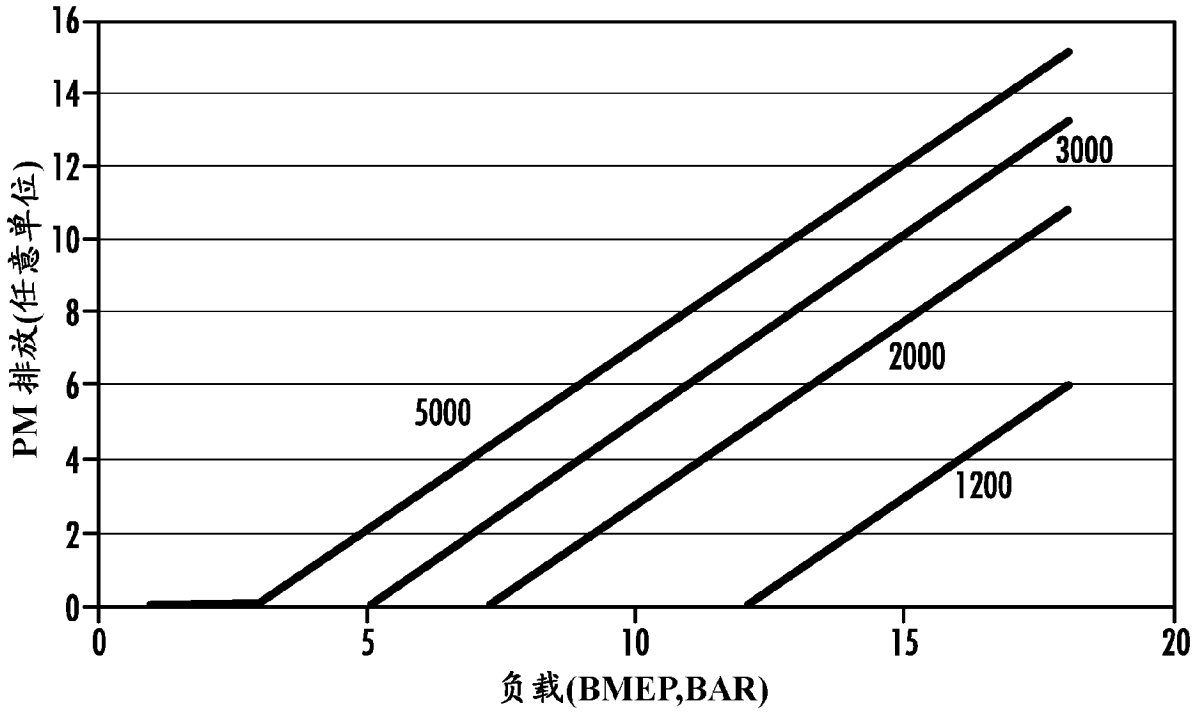

PM 排放(任意单位)
负载(BMEP,BAR)
5000
3000
2000
1200
0
2
4
6
8
10
12
14
16
0
5
10
15
20

图 3

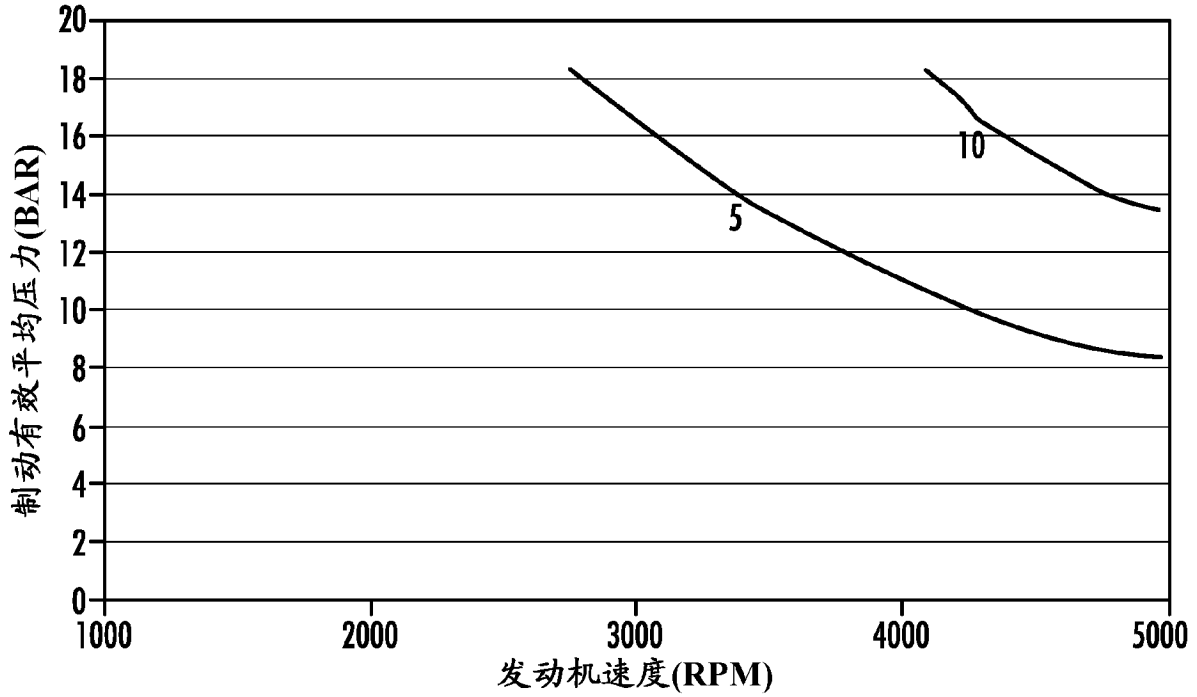

制动有效平均压力(BAR)
发动机速度(RPM)
10
5
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
1000
2000
3000
4000
5000

图 4

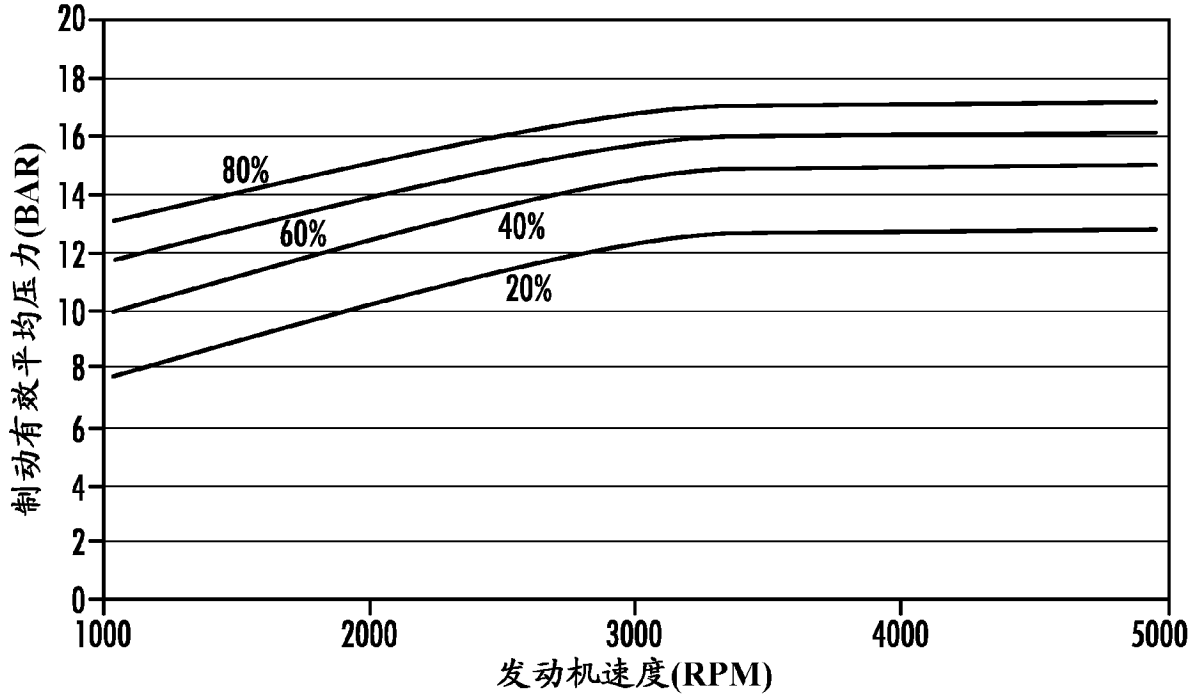

制动有效平均压力(BAR)
发动机速度(RPM)
80%
60%
40%
20%
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
1000
2000
3000
4000
5000

图 5

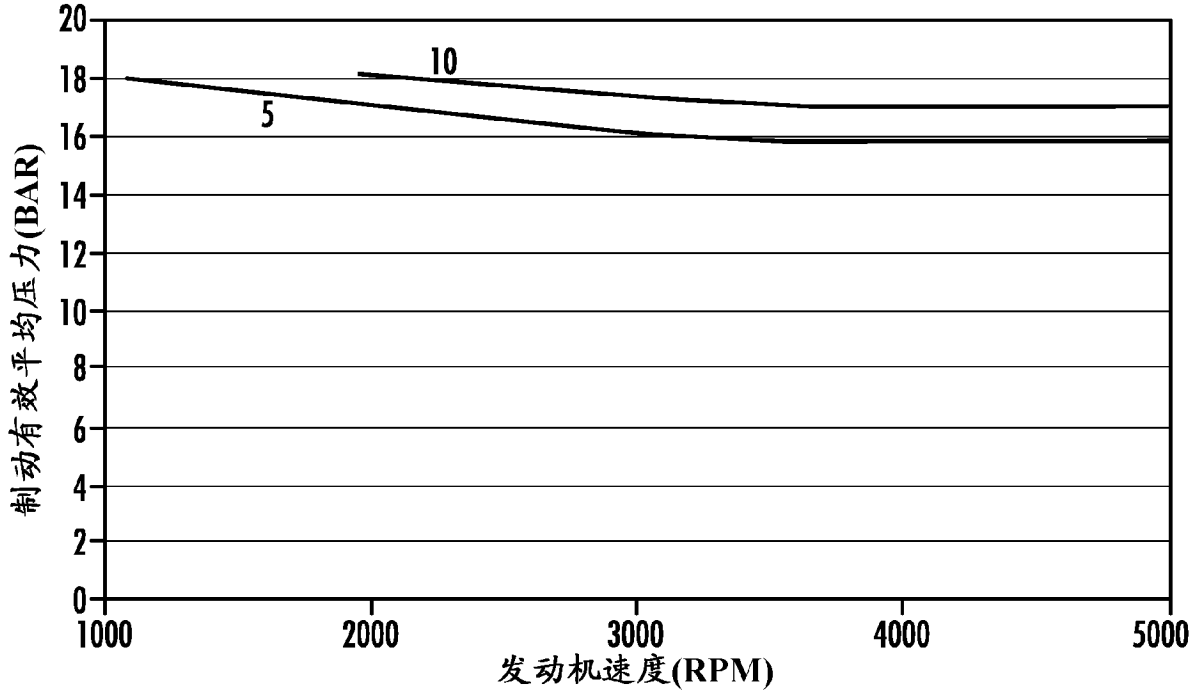

制动有效平均压力(BAR)
发动机速度(RPM)
10
5
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
1000
2000
3000
4000
5000

图 6

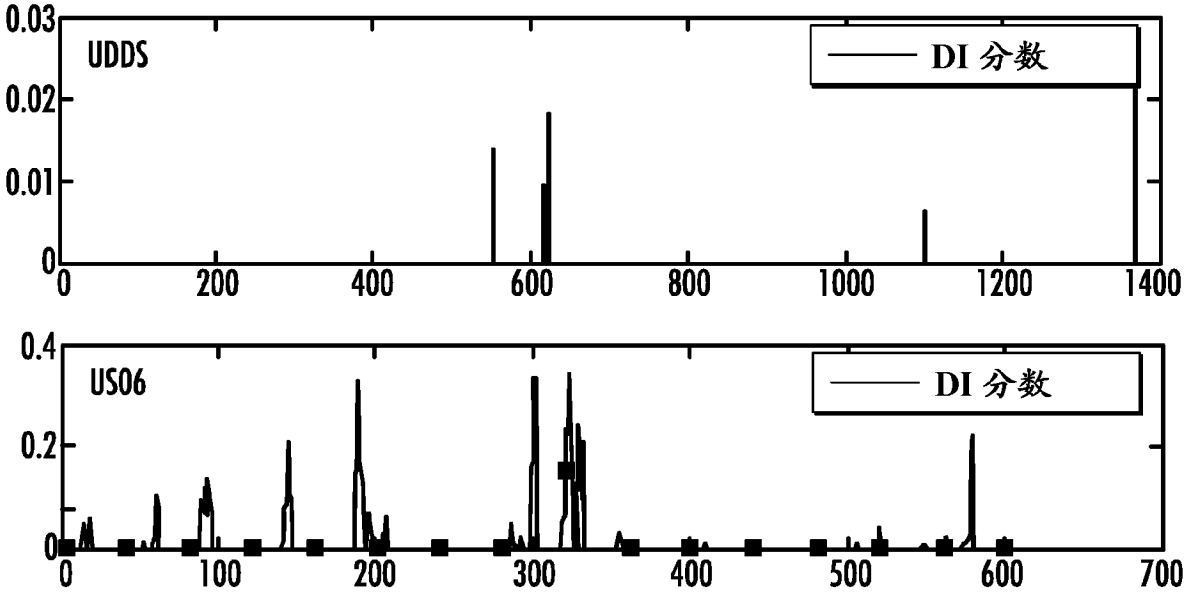

UDDS
DI 分数
0.03
0.02
0.01
0
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
US06
DI 分数
0.4
0.2
0
0
100
200
300
400
500
600
700

图 7

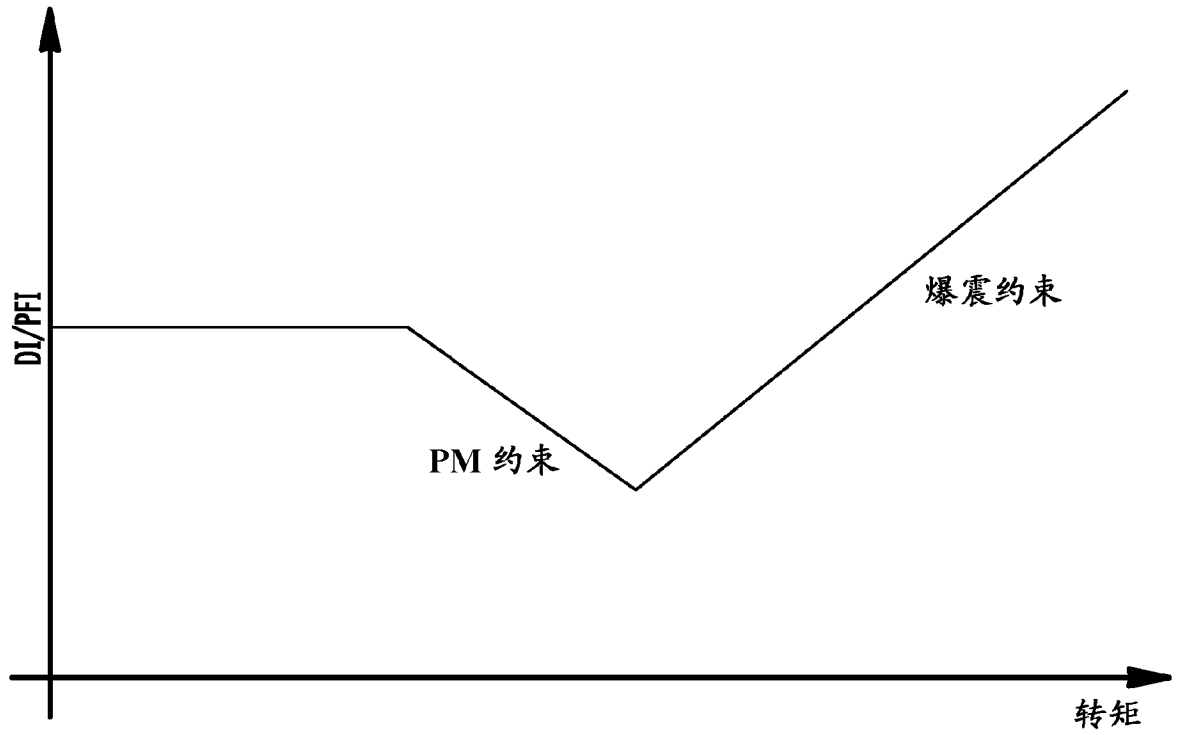

DI/PFI
PM 约束
爆震约束
转矩

图 8

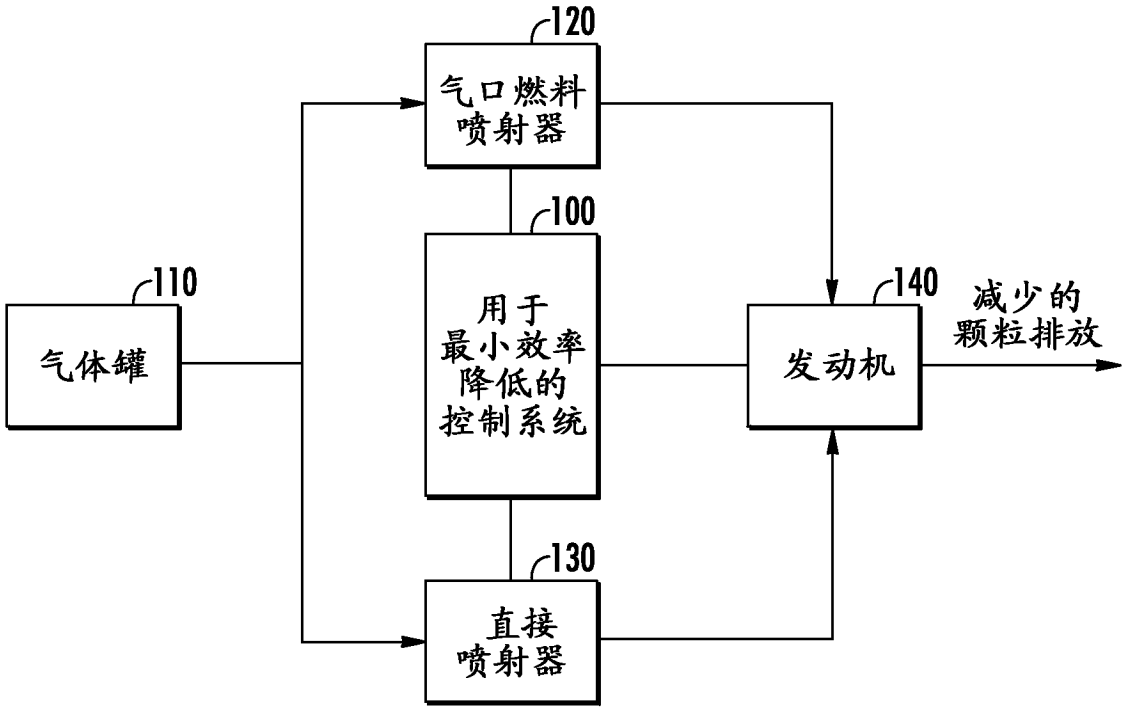

120
气口燃料
喷射器
100
用于
最小效率
降低的
控制系统
110
气体罐
140
发动机
减少的
颗粒排放
130
直接
喷射器

图 9

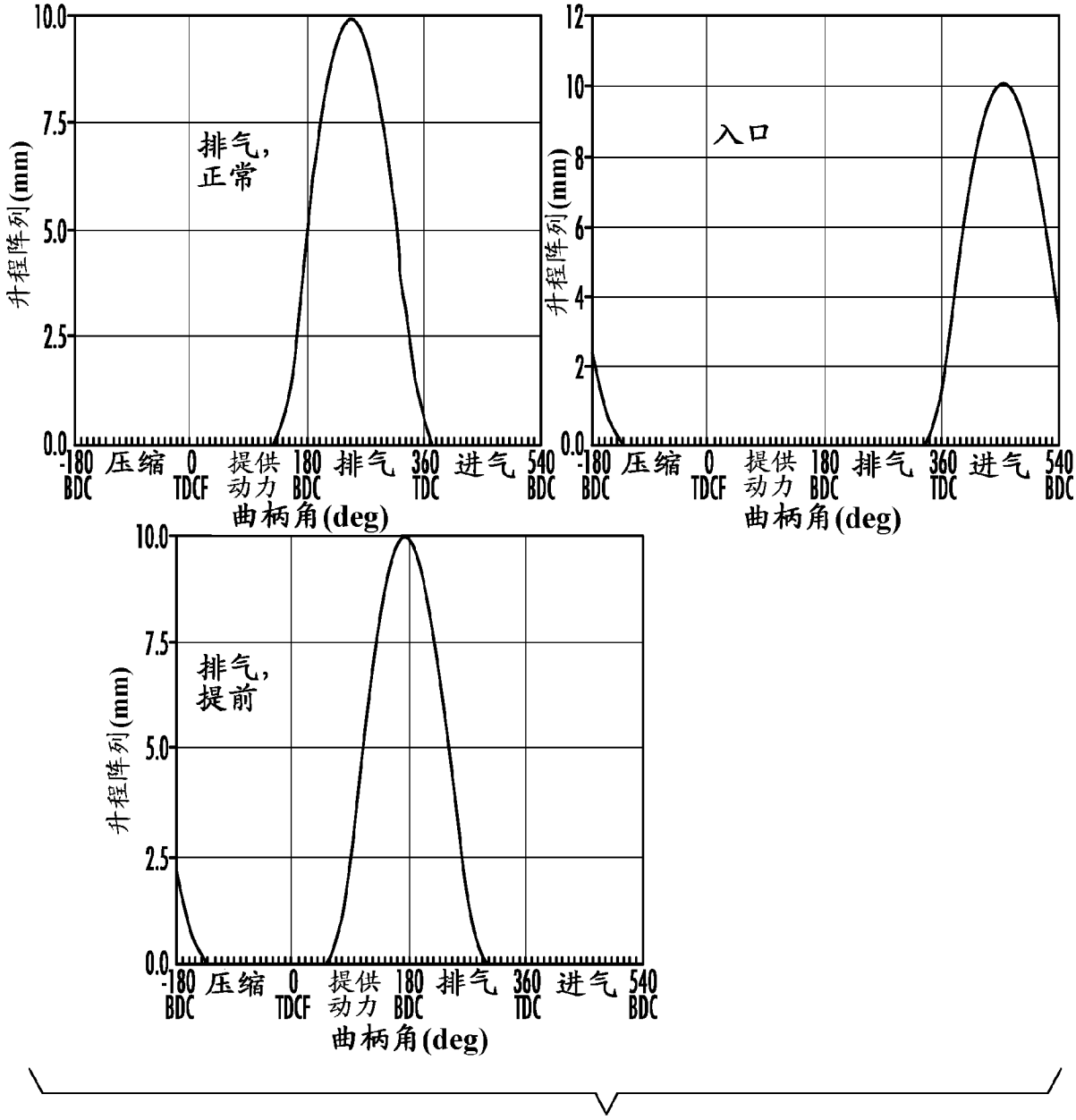

10.0
7.5
5.0
2.5
0.0
升程阵列(mm)
排气，
正常
-180 BDC
压缩
0 TDCF
提供动力
180 BDC
排气
360 TDC
进气
540 BDC
曲柄角(deg)
12
10
8
6
4
2
0.0
入口
升程阵列(mm)
-180 BDC
压缩
0 TDCF
提供动力
180 BDC
排气
360 TDC
进气
540 BDC
曲柄角(deg)
10.0
7.5
5.0
2.5
0.0
升程阵列(mm)
排气，
提前
-180 BDC
压缩
0 TDCF
提供动力
180 BDC
排气
360 TDC
进气
540 BDC
曲柄角(deg)

图 10

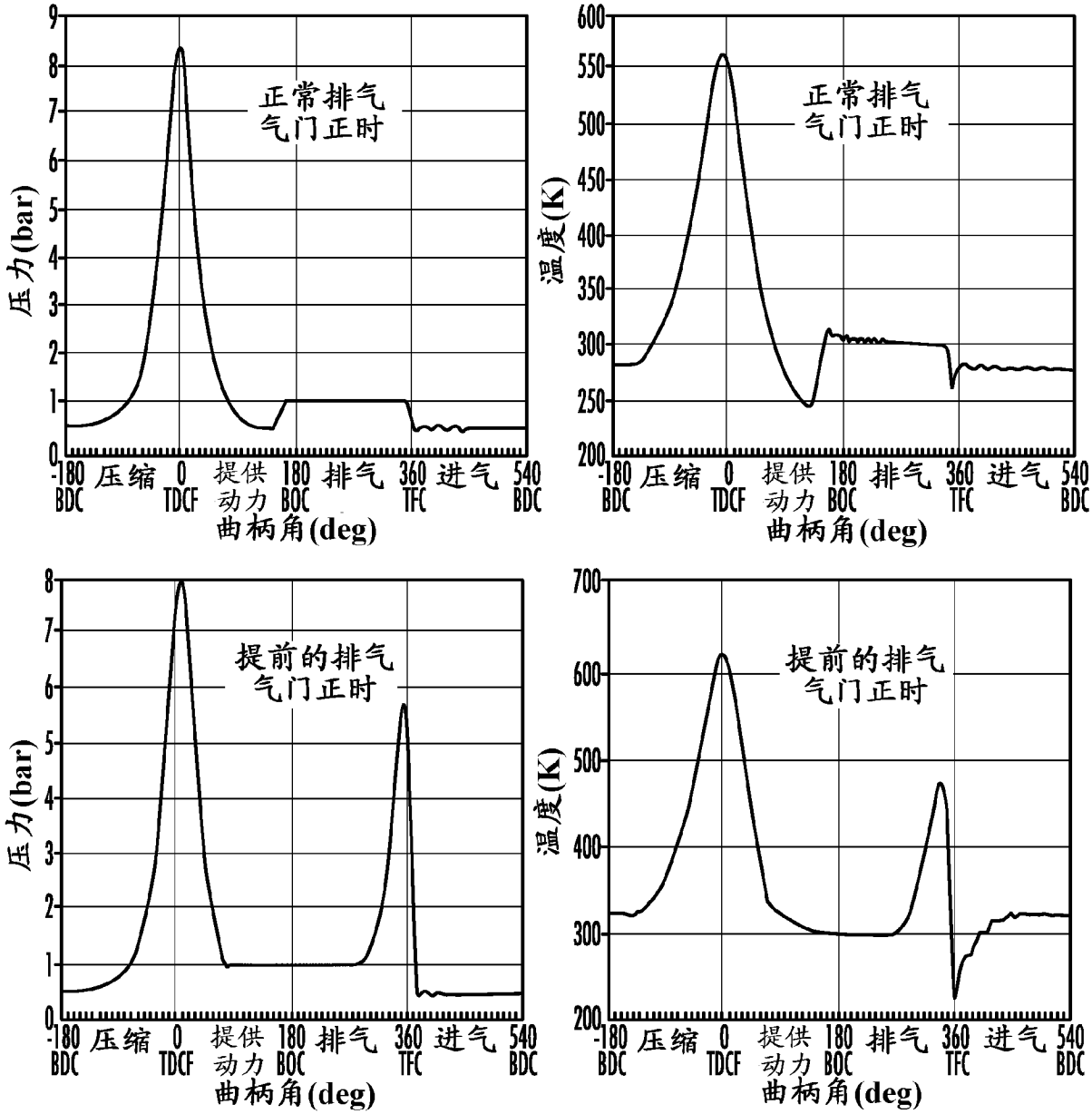

正常排气
气门正时
压力(bar)
温度(K)
-180 BDC
压缩
0 TDCF
提供动力
180 BOC
排气
360 TFC
进气
540 BDC
曲柄角(deg)
提前的排气
气门正时

图 11

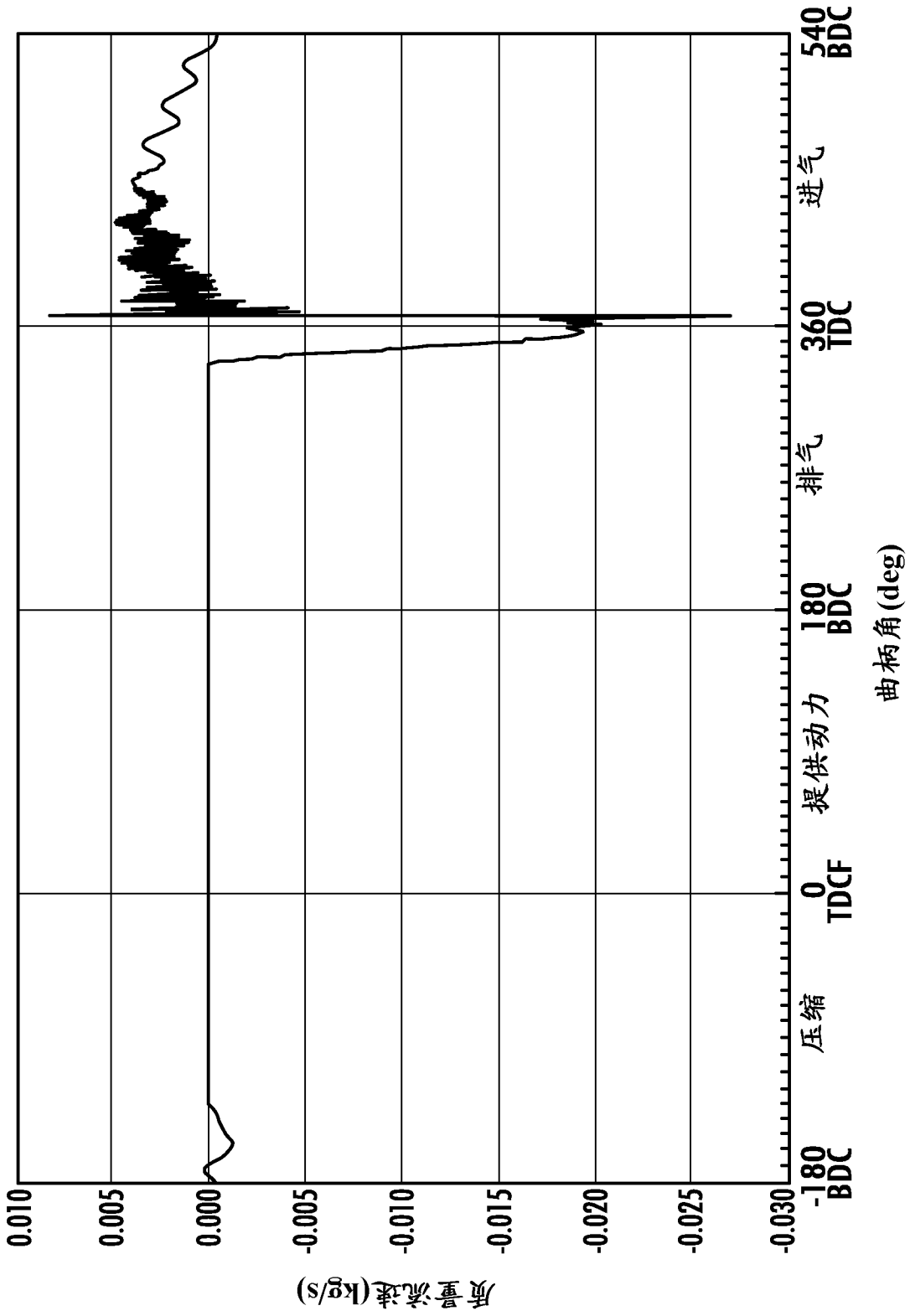

质量流速(kg/s)
0.010
0.005
0.000
-0.005
-0.010
-0.015
-0.020
-0.025
-0.030
-180 BDC
压缩
0 TDCF
提供动力
180 BDC
排气
360 TDC
进气
540 BDC
曲柄角(deg)

图 12

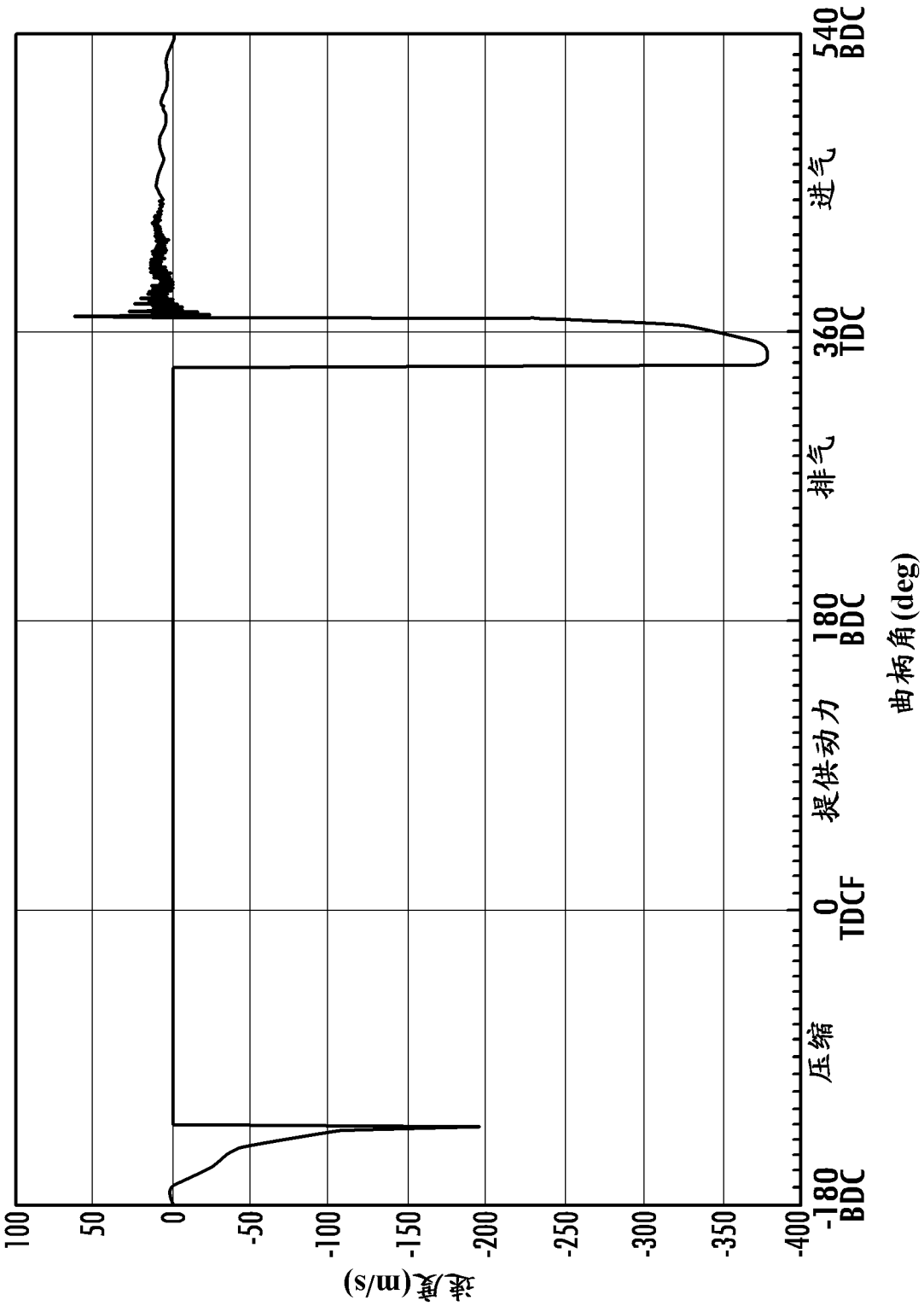

缸压(m/s)
100
50
0
-50
-100
-150
-200
-250
-300
-350
-400
-180 BDC
压缩
0 TDCF
提供动力
180 BDC
排气
360 TDC
进气
540 BDC
曲柄角(deg)

图 13