



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102472165 A

(43) 申请公布日 2012.05.23

(21) 申请号 201080029293.6

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2010.06.29

F02B 47/02(2006.01)

(30) 优先权数据

61/269,844 2009.06.30 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2011.12.28

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2010/040346 2010.06.29

(87) PCT申请的公布数据

W02011/002750 EN 2011.01.06

(71) 申请人 康明斯发电 IP 公司

地址 美国明尼苏达州

(72) 发明人 J·R·彭德雷

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

代理人 刘兴鹏

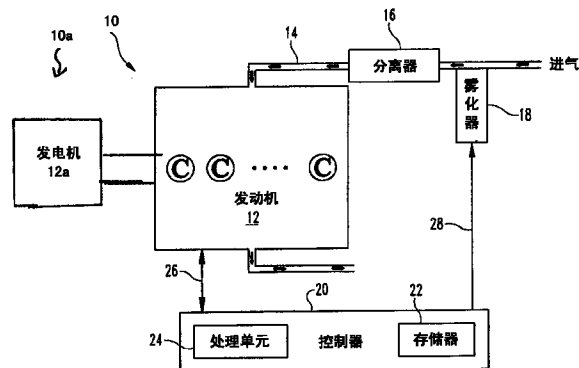
权利要求书 2 页 说明书 13 页 附图 3 页

(54) 发明名称

实施用于发动机热管理的汽化冷却和湿式压缩的装置、系统和方法

(57) 摘要

一种装置包括：具有至少一个活塞和气缸组以及进气流的往复内燃机；至少一个与进气流流体相通的液体雾化器，其可操作来将多个直径小于 $5\mu\text{m}$ 的液滴提供给进气流；以及控制器，其中控制器能通过以下方式调节用于发动机的压缩指数：响应于发动机工作极限计算湿式压缩水平以及响应于湿式压缩水平调节所述至少一个液体雾化器。



1. 一种装置,其包括:
具有至少一个活塞和至少一个气缸以及进气流的内燃机;
一个或多个与进气流流体相通的液体雾化器,其构造为将多个平均直径小于 $10\ \mu\text{m}$ 的液滴提供给进气流;
控制器,构造为响应于发动机工作极限计算湿式压缩水平;并且
其中所述一个或多个液体雾化器响应于控制器来调节湿式压缩水平。
2. 根据权利要求 1 的装置,还包括至少一个与进气流流体相通的液滴分离器,其定位于所述至少一个液体雾化器的下游和发动机的上游。
3. 根据权利要求 1 的装置,其中所述一个或多个液体雾化器包括用于提供最大直径小于 $5\ \mu\text{m}$ 的多数液滴的装置。
4. 根据权利要求 1 的装置,其中所述一个或多个液体雾化器包括用于提供最大直径小于 $2.7\ \mu\text{m}$ 的多数液滴的装置。
5. 根据权利要求 1 的装置,还包括固定应用。
6. 根据权利要求 5 的装置,其中固定应用包括由发动机驱动的电力发电机。
7. 根据权利要求 1 的装置,还包括:
用于选择液体喷射位置的装置;
用于选择液体喷射量的装置;以及
用于选择液体喷射定时的装置。
8. 根据权利要求 7 的装置,还包括与至少一个液体雾化器流体相通的封闭水源。
9. 根据权利要求 8 的装置,其中发动机工作极限包括预点火温度阈值并且还用于确定作为一个或多个发动机爆震检测器读数的函数的预点火温度阈值的装置。
10. 根据权利要求 1 的装置,其中湿式压缩水平相应于确定为在液体完全汽化之后转变至干式压缩的液体量。
11. 根据权利要求 1 的装置,还包括多个液滴喷射器、多个液滴分离器以及多个活塞和气缸组;其中所述液滴喷射器和液滴分离器被提供用于所述多个活塞和气缸组中的每个;并且其中所述多个液滴喷射器中的每个和所述多个液滴分离器中的每个紧密地靠近所述多个活塞和气缸组中的每个。
12. 根据权利要求 11 的装置,其中控制器构造为响应于一组自动点火状况确定发动机工作极限以及基于随着发动机循环而变化的一组发动机循环状况计算湿式压缩水平。
13. 根据权利要求 1 的装置,其中所述至少一个液体雾化器包括用于提供超声雾化、静电雾化和闪蒸雾化中的至少一个的装置。
14. 一种方法,其包括:
操作具有至少一个活塞和气缸组以及进气流的往复式内燃机;
产生多个平均直径小于 $10\ \mu\text{m}$ 的液滴;
将所述多个液滴提供给发动机的进气流;以及
通过选择以下中的至少一个来控制发动机的湿式压缩:
液体喷射量;和
液体喷射定时。
15. 根据权利要求 14 的方法,其中将进气流中的所述多个液滴提供给发动机包括根据

液滴喷射器顺序将多个液滴喷射入进气流。

16. 根据权利要求 14 的方法,其中多数液滴具有小于 $5\ \mu\text{m}$ 的最大直径。
17. 根据权利要求 14 的方法,其中多数液滴具有小于 $2.7\ \mu\text{m}$ 的最大直径。
18. 根据权利要求 14 的方法,其包括用发动机驱动电力发电机。
19. 根据权利要求 14 的方法,其包括雾化液体以提供所述多个液滴。
20. 根据权利要求 19 的方法,其中液体的雾化包括超声雾化、静电雾化和闪蒸雾化中的至少一个。
21. 根据权利要求 14 的方法,其包括将所述多个液滴与较大液滴分离。
22. 根据权利要求 14 的方法,其中所述控制作为一个或多个发动机工作状况的函数被执行并且包括调节湿式压缩水平。
23. 一种装置,其包括:
 - 具有至少一个往复活塞和至少一个气缸以及进气流的内燃机;
 - 与进气流流体相通的用于雾化冷却剂的装置,其可操作来将最大直径小于 $5\ \mu\text{m}$ 的多个冷却剂颗粒提供给进气流;以及
 - 控制装置,可操作来通过以下装置调节发动机的压缩指数:
 - 用于检测发动机的爆震水平的装置;
 - 用于响应于发动机超过爆震阈值的爆震水平来计算湿式压缩水平的装置;以及
 - 用于响应于湿式压缩水平调节用于至少一个雾化装置的冷却剂雾化控制计划的装置。
24. 根据权利要求 18 的装置,其中所述计算装置包括:
 - 用于当喷射量的冷却剂颗粒连续地提供时确定冷却剂颗粒的喷射量的装置;以及
 - 用于在所述至少一个用于雾化冷却剂的装置能将喷射量的冷却剂颗粒提供给进气流时确定提供喷射量的冷却剂颗粒的持续时间的装置。
25. 根据权利要求 23 的装置,其中所述至少一个往复活塞和气缸至少部分地包括绝缘材料。

实施用于发动机热管理的汽化冷却和湿式压缩的装置、系统和方法

[0001] 相关申请的交叉参考

[0002] 本申请要求 2009 年 6 月 30 日申请的美国专利申请 No. 61/269, 844 的优先权, 该美国申请整体地通过参考结合于此。

技术领域

[0003] 本发明涉及内燃机的热管理, 并且更具体地但非专门地, 涉及一种内燃机的汽化冷却和湿式压缩。

背景技术

[0004] 当气缸中的一部分空气 / 燃料混合物没有在由发动机控制系统确定的活塞冲程循环中的精确时刻与气缸中的其余空气 / 燃料混合物一起燃烧时, 内燃机中发生发动机爆震 (也称为爆燃或火花爆击和敲缸)。这种周围爆炸产生能由操作者听到的冲击波。发动机爆震冲击波的影响对于发动机而言不重要或不是灾难性的。在这些极端之间, 发动机爆震限制了压缩比、点火定时、以及其他影响往复式内燃机效率的发动机操作参数。没有发动机爆震, 这些参数能够改变以使得能更有效地操作以及总体上重新优化发动机以获得优良的性能。

[0005] 液体能用来冷却内燃机中的燃烧气体。词语“湿式压缩 (wet compression)”指的是在压缩期间汽化 (vaporizing) 液体的动作。从液体到蒸汽的相变消耗较多的能量而具有较小的温度变化。因此湿式压缩允许在相比压缩干燥空气而言有效地压缩具有较低温度的空气 / 液体混合物的热力循环增加, 使得在恒定峰值温度下实现较高的压缩和峰值压力。

[0006] 湿空气和水喷射是给往复式内燃机提供一些益处的相关工艺。湿空气循环已经用于往复式发动机和燃气轮机中以减少 NO_x 排放。水喷射在 WWII 中使用以增大航空发动机功率密度, 主要用于起飞, 但是存在着差别, 这些差别允许湿式压缩相对于湿空气和水喷射提高功率密度和效率。

[0007] 湿式压缩可能会与湿空气热力循环混淆。湿空气循环将水汽或其他非反应性蒸汽喷射入空气 / 燃料流。蒸汽喷射增大了空气 / 燃料混合物的热质量 (thermal mass) 并稀释增压空气。稀释降低了爆震的倾向同时维持了化学计量燃烧。较大的热质量降低了燃烧室中的峰值温度, 因此降低了 NO_x 形成。

[0008] 因为湿空气在与空气 / 燃料流混合时已经处于气相, 其不能在压缩期间经过相变。在湿空气压缩时, 温度几乎与干燥空气的情况一样快地升高。温度的升高稍低, 这是因为蒸汽 (例如水) 的比热比通常低于空气 / 燃料混合物的比热比。任何改进的爆震裕度主要取决于稀释效应 (dilution effect)。

[0009] 在水喷射中, 大液滴加入空气 / 燃料流以在压缩和燃烧期间由相变提供冷却。在喷射时, 水滴可遵循两个路径中的一个: 与内表面碰撞或夹带在气流中。

[0010] 大水滴可在气流方向改变时与内表面碰撞。大水滴的惯量能克服来自周围气流的摩擦并阻碍液滴遵循空气管道、进气歧管和气缸内的结构周围的气流变化的能力,引起液滴与内表面碰撞。如果表面很热,比如在气缸中,液滴可汽化(vaporize),因而使得系统类似于湿空气喷射那样动作。如果液滴没有汽化,其由气流沿着内表面推动。在其移动时,液滴可与其他液滴聚结。表面积与体积的比值降低,这降低了空气温度对液体汽化的影响。表面润湿也会导致发动机腐蚀温度,比如气缸套刮擦和油质量退化。

[0011] 如果液滴没有与固体表面碰撞,它们会保留于气流中。最终,至少一些液滴可到达气缸中。在压缩期间,液滴周围的空气温度升高。升高的温度引起热从空气流动至水滴。在液滴和周围空气之间的热梯度增大时,热传输率增大。然而,与大液滴相关的大热梯度两侧的热传输增大系统熵,从而降低循环效率。

[0012] 充分大的液滴具有足够的热惯性以在燃烧期间保持液体形式。大液滴具有比小液滴低的表面积体积比。因为热传输取决于表面积并且总体汽化所需的热取决于体积,大液滴可能没有足够的时间来完成汽化。当在燃烧期间存在大液滴时,它们降低峰值气缸压力和温度并且减缓降低系统效率的火焰传播。

[0013] 虽然水喷射和湿空气喷射可能具有降低发动机爆震的一些能力,但是仍然持续了各种缺点:在液滴汽化期间所需的大热梯度所产生的熵;表面润湿引起的腐蚀;以及冷却燃烧过程。湿空气循环在压缩期间具有等同于干燥空气压缩的温度升高,这限制了燃烧系统的效率。因而,一直需要在这个技术领域的进一步贡献。

发明内容

[0014] 本发明的一个实施例是一种独特的发动机热管理系统。其他实施例包括涉及用发动机热管理系统管理进气冷却、压缩中间冷却和/或湿式燃烧的独特方法、系统、设备和装置。本发明进一步的实施例、形式、特点、目标、方面、益处和优点将从这里提供的附图和描述中变得明显。

附图说明

[0015] 图 1 是具有涉及一个实施例的发动机的系统的示意图。

[0016] 图 2 是具有涉及另一实施例的发动机的系统的示意图。

[0017] 图 3 是具有涉及又一实施例的发动机的系统的示意图。

[0018] 图 4 是示出用于发动机热管理的示例性控制器的图示。

具体实施方式

[0019] 为了帮助理解本发明原理的目的,现在将参照附图中示出的实施例并且具体语言将用来对其进行描述。绝不当理解为这是意图要限制本发明的范围。所述实施例中的任何改变和其他变型、以及本发明如这里所述原理的任何其他应用预期为对于本领域所属领域的技术人员而言将是显而易见的。

[0020] 本申请的一个实施例包括一种用于往复式内燃机的装置和方法,用于通过加入具有足够大表面积的非气体物质来改变等熵或多变的压缩指数以在整个进气和压缩冲程中在相变期间维持低的热梯度。这个实施例的一个具体示例是将小水滴(< 5 微米)加入进

气流,其中液滴用作压缩冲程期间的中间冷却剂,降低峰值增压空气温度,并且因而降低发动机爆震的倾向。

[0021] 湿式压缩是利用作为进气的整体部分并保持液态形式的液滴的发动机调节过程。例如,液滴均匀地冷却大部分进气以避免热点。对于进气期间的湿式压缩状况,较小的液滴可有助于改进增压空气中的分散。对于类似体积的液体,对于较小直径的液滴而言液滴之间的分离较少,并且相应地提供更多的冷却点并保持整体温度 (bulk temperature) 更接近于饱和温度。当在燃烧过程开始之前小液滴避免与表面接触并且基本上汽化时,系统的效率应当增大。如果液滴足够地小,就可能会满足这些状况。

[0022] 在另一实施例中,进气中夹带的液滴提高往复式内燃机的容积效率。在往复式内燃机将空气吸入气缸的正常状况下,新鲜空气与残留废气混合并且通常由气缸壁、活塞和缸盖加热。这种加热引起气体膨胀,因而降低每次循环中导入气缸的空气量。在湿式压缩状况下,夹带的液滴保持增压空气冷却,这增大了增压空气密度,这可有助于增大功率密度。

[0023] 不幸的是,将液体导入发动机的压缩阶段可能会增大系统熵。热从压缩空气流动至液体从而迫使液滴汽化。这种热传输由热梯度驱动。横跨热梯度的热传输增大了熵,并且热梯度越大,产生的熵越多。在一个实施例中,用于液体导入压缩阶段的状况是显著量的液体表面积,因此具有降低的热梯度用于热传输。对于给定量的液体,液滴直径减小通常增大表面积。减小直径液滴的减小热梯度可提供降低的熵水平并且产生改进的燃烧系统效率。

[0024] 在进气和压缩阶段之外存在且继续进入燃烧阶段的液体会具有有害效果。对于热传输而言热梯度倾向于较大,因为燃烧温度很热同时液体仍然处于其饱和温度。燃烧温度在水汽化之前会保持很高,允许升高的 NO_x 形成。如果在燃烧之前类似量的水汽化,会改进 NO_x 排放和效率。

[0025] 另外,在液滴进入燃烧阶段时,相变倾向于冷却燃烧过程。湿式燃烧会由于与干燥燃烧相比较低的温度并且因此降低的压力升高以及缓慢的火焰传播而降低系统效率。设计用于湿式压缩的进气冷却或中间冷却的系统可发现其有利于避免可能产生湿式燃烧状况的操作。

[0026] 理解影响液滴汽化的参数有助于湿式压缩优化。液体汽化期间消耗的能量驱动湿式压缩的中间冷却效果。液滴直径是汽化性质的一个参数。对于一个实施例给定量的水,液滴汽化所需的时间部分地取决于液滴直径的平方。在相对于整体气体温度的恒定热梯度下,汽化液滴的时间与液滴直径大致平方地成比例。具有类似的热梯度,5 μm 的液滴将可能在 20 μm 液滴的大约 1/16 时间内汽化并且 1 μm 的液滴将可能在该时间的大约 1/400 时间内汽化,其原因是较小液滴的表面体积比 (surface to volume ratio) 和分散效应。

[0027] 在一个实施例中,平均液滴直径小于 10 微米。在另一个实施例中,对于由水构成的液滴,液滴直径等于或小于 5 微米。在有一个实施例中,令人惊奇地发现,在液滴由水构成情况下,在 1200RPM 发动机中,期望的中间冷却效果可通过将每个液滴的最大直径保持为小于 2.7 微米来实现。

[0028] 水喷射通常使用大的水滴,20 μm 至超过 100 μm,并且意在通过汽化和空气/燃料稀释来冷却燃烧。大液滴可在压缩冲程期间提供受限的冷却。与本申请的一个实施例相反,湿式压缩使用小液滴,1 μm 或小于 5 μm,以允许更快速的汽化,用作压缩冲程的中间冷却剂并且在燃烧之前更完全地汽化。小液滴通常能在燃烧之前更完全地汽化并且有助于在

汽化期间减少的熵产生。虽然中间冷却效果可更有效,但是这个效果也可利用更少的水来提供类似的爆震裕度和 NO_x 减少。使用更少的水,这是因为中间冷却有助于压缩工作减少,因此需要更少的能量耗散。

[0029] 应当理解到,小液滴的快速汽化速率倾向于减少有时与水喷射相联系的腐蚀和油损耗。小液滴在暴露于大的热梯度时能潜在地在不到 1 毫秒内汽化。因而,如果小液滴处于朝向气缸壁的轨迹上,来自气缸的热将很可能在液滴能接触气缸表面之前将其汽化。较大的液滴将需要更长时间来汽化,并且可能会导致液体—固体接触。应当理解到,与大的蒸汽液滴相比,小直径的液滴能更好地有效遵循气流,因而使得端口喷射配置能作为直接喷射的替代方案。

[0030] 通常,期望液滴遵循气流以避免润湿内表面。与水喷射系统所共有的较大的液滴很可能会与发动机表面碰撞。表面润湿降低压缩中间冷却效果并且会引起腐蚀问题。与内表面碰撞的液滴降低其表面积对体积的比值,这降低了湿式压缩的正面效果。内表面上的液滴也可变为可能的腐蚀或润滑剂移除的源头。随着液滴的表面积体积比值增大,液滴轨迹对周围气流的依赖性也增大。

[0031] 在液滴温度从热流增大时,液滴达到其饱和温度并汽化。用来形成这个汽化的热否则将用来增大压缩空气的温度,因而液滴汽化可有效地降低压缩温度,抑制爆震。在压缩期间,压力也增大,因而饱和温度在整个压缩冲程期间增大。汽化增大了压缩腔中的气体分子的总数量,因而也增大了总体腔室压力。这允许用于温度的等熵或多变压缩指数低于用于压力的有效等熵或多变压缩指数。

[0032] 夹带和汽化速率的要求建议小、均匀的水滴。形成微米直径液滴对于使用空气或水压力雾化的喷射器而言是困难的。一个实施例包括能形成小且均匀液滴的技术,其称为超声波雾化。超声波雾化器能产生直径低于 1 μm 的水滴。超声波雾化器有效地产生将水喷射入气流的微波。液滴尺寸取决于能被牢牢控制的驱动频率。发动机管理系统牢牢地控制液滴尺寸的能力可有助于发动机操作的优化。

[0033] 通常,某些利用超声波雾化器的场合可布置为尽可能地靠近进气阀以降低液滴聚结。一个实施例包括超声波雾化器,其后是大液滴分离器装置,然后是紧密相通的进气阀。在一种方法中,大液滴分离器能用作水 / 空气 / 燃料混合器。

[0034] 在其他实施例中,用于形成液滴的其他技术也是可能的,比如静电雾化。虽然静电雾化能形成细小液滴,但是静电雾化可能在包括火花点火发动机的某些实施例中是不期望的,因为其可能会产生放电。

[0035] 另一实施例可包括闪蒸雾化器 (flash atomizers) 以提供类似的雾化。闪蒸雾化器通过加热压缩液体以使得一部分在从雾化器释放至较低压力时沸腾来形成小液滴。沸腾动作将最初的大液滴破碎为较小液滴。这个动作可在连续雾化器或加热喷射器 (可能是共轨喷射器) 中发生。闪蒸雾化还使得能在往复式内燃机中进行缸内喷射,这能提高湿式压缩过程的性能和可控性。闪蒸雾化还可通过加入一种在高压下非常易于混合于喷射冷却剂中但是在低压下作为蒸汽逸出以避免加热液体的气体来完成。例如,二氧化碳在高压下溶解于水中,但是在释放至较低压力 (甚至在环境温度下) 时引起二次雾化。

[0036] 闪蒸雾化可由稳态雾化器、端口喷射器、或缸内直接喷射 (按照增大的复杂性和控制能力的顺序) 进行。对于一个实施例,共轨喷射器保持大约 200 巴的流体。在 200 巴

下,液态水能加热至超过 200℃而不汽化。在喷射器打开时,压缩的热水释放至较低压力,例如 1 巴。在 1 巴下,200℃高于水的沸腾温度。从喷射器雾化的液滴开始沸腾,包括内部汽化。内部汽化有助于将初始液滴破碎为很多较小液滴。小的二次液滴然后可用于湿式压缩应用。

[0037] 雾化之后,可在燃烧室内或燃烧室内进行喷射。在燃烧室内,液体能在进气冲程期间或刚好在进气阀闭合之后喷射。进气冲程之前的内部喷射和外部喷射都通过冷却增压进气来提高容积效率,因而增大其密度。由于较小的气团,对于类似数量的液体喷射,进气阀闭合之后的内部喷射提供了较大的冷却。内部喷射使得能进行喷射定时优化,喷射定时优化通过以类似于汽化速率的速率进行喷射来最小化内表面润湿。使喷射和汽化速率匹配最小化了水滴在动力气缸中的驻留时间。内部喷射提供了较大的控制,而燃烧室外侧的喷射器通常比较便宜。

[0038] 应当理解到,任何液体可以闪蒸雾化。在一个示例性实施例中,乙醇、或乙醇/水混合物,能作为初始燃料喷射,并且闪蒸雾化增大湿式压缩,并且相应地增大效率上限,还有改进的可燃性,因为更多的燃料在燃烧之前汽化。这种喷射技术还能用汽油提高发动机的效率,尽管汽油由于具有相对较低的汽化焓而提供较少的冷却。替代地,可喷射惰性液体比如水以专门提供冷却。

[0039] 液体冷却剂源可能和冷却剂的选择一样是个问题。一些液体源污染,比如浓缩废气蒸汽中的碳颗粒,可有益于发动机,但是可能会引起对喷射器的显著损害。超声波雾化器一般不依赖于小开口,比如压缩喷射器,并且因此它们不大可能由于污染而堵塞。另外,超声波雾化器喷射供水中承载的任何物质,并且因此应当考虑供水的内容物。

[0040] 在其他实施例中,湿式压缩利用发动机安全水源。水源可以满足三个示例性状况:固定初始动力,比如组合的热和功率系统(CHP)、废气再循环(EGR)、以及废水回收系统,类似于在燃料电池中使用的那些。CHP系统通常连接至供水,并且增加部件,比如净水器,通常将不会显著增大系统尺寸。EGR冷却系统提供用于将水在冷却器中沉淀之后不受控制地导入发动机。替代地,来自EGR冷却器的冷凝物可收集并精细地雾化以使得能进行湿式压缩。

[0041] 在一种方法中,来自废气冷凝器的冷却EGR水可用作充分的液体源。替代地或另外地,按照期望,外部水可与过滤和/或蒸馏一起使用。因为发动机中已经有显著的加热和冷却发生,集成的蒸馏系统可以是提供清洁水的成本有效的方法。

[0042] 在另一实施例中,从气流移除的液滴可收集并返回至夹带系统以试图将它们以减小的尺寸重新导入。液滴再循环应用于冷却EGR应用中,例如,其中大水滴存在于空气燃料流中并且可为雾化器提供大部分的水,这减少了对于外部供水的需要。水也可从与其他废气系统比如EGR冷却区独立的废气再循环。

[0043] 一种增大湿式压缩效果的方法包括移除比期望的要大的液滴。液滴分离通过移除否则将会冷却燃烧过程的液滴增大了循环效率。分离还通过使得液体能再循环增大了液滴使用效率。例如,被捕获且再循环的100微米直径的液滴能产生1,000,000个1微米直径的液滴,这将具有10,000倍的总表面积——明显用于冷却。

[0044] 液滴分离可通过本领域已知的数种工艺来进行,例如惯性分离或筛网。使用大小颗粒之间质量对表面积中的差别的惯性分离可在旋风分离器中发生。另一种惯性分离器使用将气流导向至其周围的挡板。层叠冲击器或虚拟冲击器可用于这种类型的分离。较大液

滴将难以遵循挡板周围的气流并撞击到表面上。筛网可提供已知分离的阻挡层,其不允许较大液滴穿过。这种筛网可具有小于 10 微米的线间间隔。另一实施例可利用相对于其他标准进气通路部件具有某些调节的空气过滤。这个实施例可将液滴分离器定位于中间冷却器和节流阀之后。

[0045] 在某些实施中,液滴分离可在液体或颗粒喷射入气流之后进行以移除可能会在进入往复式内燃机的气缸时引起有害效应的大颗粒。小液滴允许穿过,使得能发生湿式压缩。大部分的大颗粒移除并且可再循环入小液滴并再次夹带在气流中。其他分离方法举例来说可包括重力或静电力。

[0046] 在整个压缩冲程中发生的湿式压缩可能会使空气 / 燃料混合物过冷。湿式和干式压缩之间的混合状况可为宽范围的压缩比提供优化效率。混合循环开始于湿式压缩。混合循环开始时的湿式压缩使得汽化期间的熵产生最小化同时降低压缩期间的温度升高。喷射适量的液体以使得在液体完全汽化之后在压缩冲程期间转变为干式压缩。混合循环使得预点火温度在没有爆震的情况下能尽可能地高。升高的温度解决了完全湿式压缩引起的效率损失。当压缩期间冷却剂完全汽化时,燃烧和膨胀期间没有进一步的冷却,留下更优化的等熵或多变压缩指数。压缩指数对于如理想气体那样行为的系统而言可以是等熵的或者对于没有获得理想气体的状况而言是多变的。

[0047] 混合的湿式和干式压缩循环可为高于干式压缩的爆震限度的压缩比带来示例的无爆震效率。可确定对于给定预点火温度限度而言的优化湿式压缩。爆震限度的压缩比可以是超过 40 : 1,可能具有超过 70%的理论效率。这种无爆震压缩比由于湿式压缩的冷却效应而成为可能,因为湿式压缩的冷却效应限制了否则很可能在干式压缩下出现的温度和压力升高。

[0048] 除了改进效率以外,湿式压缩使得能进行更好的发动机控制。预点火温度可通过调节湿式压缩的持续时间来控制。湿式压缩的持续时间可由加入增压空气的液体或固体冷却剂的量来设定。在一个实施例中具有闪蒸雾化喷射器情况下,液体喷射可根据循环而变化,类似于共轨柴油机喷射器。湿式压缩比的控制可使得能快速地控制预点火温度和压力。

[0049] 预点火温度控制提供了很多与可变压缩比发动机相同的益处。随着燃料质量、空气燃料比或进口空气状况改变,发动机的爆震特性也改变。湿式压缩可使得发动机能在一个循环接着一个循环的基础上 (on a cycle by cycle basis) 适应于这些改变。均质充量压缩点火 (HCCI) 是需要对顶部死区中心处或附近的空气 / 燃料状况进行控制的一个应用。很好地控制的湿式压缩可使得发动机能适应于由于燃料或增压空气改变所引起的自动点火改变。当在一个循环中增压空气状况改变时,喷射器可调节下一循环中喷射的液体的量以维持坚固的 HCCI。很好地控制的湿式压缩可提供可变压缩比发动机的益处,但是存在着能分开地控制和优化每个发动机循环和气缸的可能性。

[0050] 因为空气 / 燃料混合物在压缩期间冷却,压力增大可低于没有冷却的情况。尽管压缩比可相对较高,但是压缩开始时与压缩结束时的压力比和温度比低于膨胀冲程的温度比和压力比。压力比和温度比的这种差异使得由湿式压缩进行的中间冷却以类似于米勒循环发动机的方式操作,但是具有改进的功率密度。

[0051] 通过将足够小的液滴导入气流,在进气冲程期间液体被夹带并保持增压空气冷却。小液滴的导入可增大总体容积效率,并且因而还增大功率密度。尽管液体的量可增大

以产生湿式压缩,少量的液体将总体上产生改进的容积效率。尽管对液体导入进行参照,但是相信相变是原理机制,因而也可使用固体。

[0052] 在一个实施例中,在进气阶段期间导入低水平的微水滴时,水滴经常在达到压缩阶段之前汽化。一些水滴可保持进气冷却,因为其由周围气缸壁、活塞和汽缸盖,还有从前一循环留下的剩余废气,所加热。通过降低增压空气温度,更多的空气可能会进入气缸,这相应地增大功率密度。进气冷却能提高压缩点火和火花点火发动机的性能。

[0053] 发动机通常需要较高的压缩比或更提前的点火定时以增大效率。增大的压缩比和提前的点火定时通常增大 NO_x 排放。在另一实施例中,湿式压缩降低预点火温度,因此降低峰值温度,并且另外地降低 NO_x 排放,同时仍然以热力高效的方式提供高的压缩比和点火定时而没有爆震的倾向。尽管这主要应用于火花点火发动机,但是其也降低压缩点火发动机中的 NO_x 产生,即使在高压比和提前的喷射定时情况下。

[0054] 尽管存在着提高爆震裕度和降低 NO_x 产生的潜能,但是将液体不受控制地导入奥托 (Otto) 或柴油循环发动机也会增大循环熵,因而减低循环效率。通过本申请能够使得总体系统效率增大。优化状况下的湿式压缩可允许提前的点火定时、较高的制动平均有效压力、较低的燃烧温度、以及较高的压缩比,其每个都可有助于系统效率。

[0055] 湿式压缩能降低预燃烧温度和压力。这些预燃烧效应可有益于减少爆震,但是会有损于效率。过度的湿式压缩会导致显著较低的预燃烧压力,以致于燃烧过程提供较小的峰值压力,并且导致较低的效率。湿式压缩可提供更多的冷却甚于压力降低,因此如果压缩比增大至爆震限度,循环效率将提高。

[0056] 发动机爆震通常限制往复式内燃机中可用的最大增压。这个爆震限度与增压的关系可应用于具有化学计量空气 / 燃料混合物的发动机。在一个实施例中,湿式压缩通过降低空气 / 燃料混合物的预点火温度来抑制爆震。这种爆震抑制使得能具有跟高的增压,增大功率密度和 BMEP,这倾向于增大系统效率。在另一个实施例中,湿式压缩不同于水喷射,因为液体在燃烧之前更完全地汽化,因而使得能具有有效的燃烧过程和改进的循环效率。

[0057] 均质充量压缩点火 (HCCI) 发动机通过压缩空气 / 燃料混合物以使得其在压缩冲程结束附近自动点火来操作。在这种应用中,系统操作来安排自动点火温度的时间,这个时间如果太早会引起发动机严重地爆震并且如果太晚发动机可能根据不会点火。在空气 / 燃料混合物状况改变时,自动点火温度也改变。因而改变动力输出通常包括压缩冲程结束时所达到的温度的改变。

[0058] 在又一实施例中,湿式压缩可通过在压缩期间较早地提供冷却使得能对压缩冲程期间所达到的最大温度进行控制。在这个实施例中,压缩比设置为在稀燃操作 (lean operation) 期间提供 HCCI。在空气 / 燃料混合物变得更富含时,自动点火温度降低,引起较早地点燃。加入更细小的水滴能降低由于压缩引起的温度升高并将自动点火延迟至适合时间。改变加入水量的逻辑电路可依赖于检测在先一个循环或多个循环的燃烧状况的传感器。除了 HCCI 控制之外,逻辑电路还可控制发动机中的初始爆震。在发动机动力需要降低时,可减少微液滴产生,降低冷却并使得自动点火能在适合的时间。

[0059] 湿式压缩的一个方面是压缩期间的中间冷却效应。喷射液体的量可调节为仅在发动机循环开始时具有湿式压缩,而大多压缩冲程在仅有气体情况下进行。因为湿式压缩可减少爆震,使得能具有较高的增压,增大压缩比,提前火花定时等,工作状况可由发动机设

计者在从其现有优化路线移除爆震限度之后确定。

[0060] 将往复式内燃机中的燃烧室绝缘是已知的,其通过在膨胀期间将更多的热保留于气缸中来提高燃料转化效率。燃烧室绝缘还提供更热的废气,这增大了由组合的热和动力系统和底层循环(比如涡轮组合或朗肯循环, Rankine cycles)获得的潜在效率以提高总体系统效率。相反地,在燃烧之后由燃烧室绝缘保持的热在奥托和柴油循环发动机中都有助于火花点火发动机中的爆震和更高的 NO_x 排放。湿式压缩可减轻燃烧室绝缘对于奥托和柴油循环发动机的负面效应。

[0061] 由于火花点火发动机中的爆震问题,发动机绝缘通常已经限制于压缩点火发动机。对于绝热火花点火发动机已经进行了研究,但是由于爆震限度的因素,没有获得可行的设计。本发明的一个实施例使得对于绝热火花点火内燃机能获得高的压缩比和增压。

[0062] 湿式压缩通过帮助在压缩之前冷却燃烧室气体来有助于减少和/或避免燃烧室绝缘的有害效应。湿式压缩进行的汽化冷却通过降低压缩指数来使得能具有高的压缩比,这允许压缩期间较低的温度升高。

[0063] 在一个实施例中,气缸绝缘在湿式压缩情况下由于较大的相对效应而更加有效。另外,气缸/活塞/缸盖绝缘的有害效应,具体地是增大的爆震倾向和 NO_x 排放,可减少或避免(假设在化学计量燃烧中使用了其他机构,比如但不限于三元催化剂)。

[0064] 对于一个实施例,湿式压缩有助于降低往复式内燃机中的缸内温度以抑制爆震并且能使得燃烧室绝热。燃烧室绝热可以是活塞、缸盖或气缸的绝缘覆层,其中绝缘覆层可以由陶瓷制成。其还包括由绝缘材料形成发动机部件,比如活塞、缸盖或气缸。湿式压缩还可使得能在柴油机上绝热同时维持低的 NO_x 排放和高的容积效率。

[0065] 设计用于湿式压缩的系统的一个实施例使得一些替代的燃料设计更加可行。当生物乙醇在某些状况下产生时,燃料经常与用于生物处理中的水分离。初始分离可通过蒸馏发生;最终的水/乙醇分离可借助于可再装载干燥剂来发生。最终分离增加了乙醇生产工艺的成本和复杂性。使得发动机能用水/乙醇混合物工作可降低对于乙醇生产的处理要求。利用水/乙醇混合物作为燃料能降低对于乙醇的处理要求,并且因而燃料成本。然而,使用目前的方法难以可靠地点燃水/乙醇,因为汽化的高潜热和乙醇需要处于气态以便点火。

[0066] 同时,用纯水的汽化冷却和湿式压缩由于水的表面张力使小液滴的形成和汽化复杂化而不够高效。将乙醇加入水通常会降低水的表面张力和沸点,简化雾化和所得到的较小液滴。

[0067] 一个实施例使用乙醇/水混合物的高潜热来通过精细地雾化乙醇/水混合物提供汽化冷却和湿式压缩的益处。这种精细雾化(直径 $< 5 \mu\text{m}$)使得相比仅用水而言更容易,部分地由于表面张力降低了水中的乙醇质量。汽化冷却和湿式压缩的益处可使得能具有较高的压缩比和降低的发动机冷却(经由绝缘燃烧室)。高压比和绝缘发动机有助于提高效率 and 功率密度同时减少通常与乙醇/水混合物相关联的冷启动温度。在直接喷射发动机的一个实施例中,高压比和绝缘发动机可用来提供开口节流阀动力管理,进一步增大效率。

[0068] 在一个实施例中,在直接喷射发动机的情况下,未节流的动力输出能通过乙醇/水喷射的定时来控制。进气冲程期间的喷射可改进进气期间的汽化冷却效应,并且相应地增大发动机的容积效率。进气阀闭合之后的喷射通常不会提供进气期间的汽化冷却,因而

减少量的空气可进入动力气缸。汽化冷却和湿式压缩效应可在压缩期间发生以有助于高压压缩比和效率。

[0069] 太显著地增大压缩比可能会在液体传输系统中断时引起灾难性的故障——存在着导致过度爆震的可能。可进行其他系统优化,使得不会导致灾难性的水中断。

[0070] 在一个实施例中,导入进气的少量水能以不完全依赖于液体传输系统的方式有益于发动机。湿式压缩允许:点火定时提前、较高的无爆震增压(降低摩擦对效率的影响)、和/或降低燃烧温度(改进 NOx 排放和减少传输至发动机壁的热)。当在一个实施例中对发动机的重新优化利用了湿式压缩但是没有它时也不会出现灾难性地故障时存在这些效应。系统可设计为使得,如果水系统故障,发动机可在涡轮增压减少并且点火定时延迟情况下优化地工作,但是不会灾难性地故障。

[0071] 图 1 示出了一个实施例的系统 10,其具有其类型为带有一个或多个往复式活塞 C 的往复式活塞型发动机 12。在一个形式中,发动机 12 为具有压缩点火和燃料喷射的四冲程柴油燃料型。在其他实施例中,发动机 12 能为火花点火型、二冲程型、旋转型比如汪克尔发动机(wankel engine),和/或可不利用任何形式的燃料喷射,这仅举出几个可选的可能性。此外,其他实施例可供应不同的燃料,比如汽油、乙醇、氢气、天然气、丙烷、其他气态燃料、和/或燃料类型的混合组合——这仅是提出一些可能性。还预期,作为用来给机动应用比如车辆提供动力的替代,系统 10 可将动力提供给固定应用,比如电力发电机、泵等。在描述为固定系统 10a 的这种实施中,并且更具体地描述为电力发电机 12a 由发动机 12 驱动,将理解到,其他固定和移动应用(未示出)也预期处于本申请的范围。另外,系统 10 可用于除了发动机 12 以外包括一个或多个动力源(比如电池组、燃料电池——举几个例子)的混合应用中。

[0072] 发动机 12 包括进气流 14。进气流 14 与液体雾化器 18 流体连通。液体雾化器 18 可以是超声雾化器、闪蒸雾化器、静电雾化器或本领域技术人员已知的其他适合类型。在空气进入进气流 14 时,液体雾化器 18 将液滴提供给空气、在夹带有液滴的空气继续穿过这个实施例的进气流 14 时,液滴基于尺寸通过流过液滴分离器 16 而分离。一些实施例可不包括如图 1 所示的分离器或者分离器 16 可构造或定位为更加与发动机 12 或雾化器 18 集成。液滴分离器 16 可以是基于惯性、重力或筛网的分离器。惯性分离器可以是旋风式或横向流过平行板。在穿过液滴分离器 16 之后,夹带有液滴的空气在进气循环期间进入发动机 12。

[0073] 控制器 20 通过一组发动机控制信号通路 26 连接至雾化器控制信号通路 28 和发动机 12 的各种设备并与之相通。通常,控制器 20 可包括在标准类型的发动机控制模块(ECM)中,包括一种或多种类型的存储器 22。控制器 20 能是由一个或多个部件构成的电子电路,包括数字电路、模拟电路或这两者。控制器 20 可以是软件和/或固件可编程类型;硬布线的、专用状态机;或这些的组合。

[0074] 在一个实施例中,控制器 20 是可编程微控制器固态集成电路,其一体地包括一个或多个处理单元 24 和存储器 22。存储器 22 可由一个或多个部件构成并且可以是任何易失性或非易失性类型,包括固态变化性、光学介质变化性、磁性变化性、这些的组合、或者本领域技术人员将认识到的这种不同布置。另外,虽然仅具体地示出一个处理单元 24,但是可包括超过一个的这种单元。在存在多个处理单元 24 时,控制器 20 可布置为在这些单元之间分配处理,和/或如果希望提供并行或流水线处理。控制器 20 根据由编程、硬件或其组合

限定的操作逻辑电路来起作用。

[0075] 在一个形式中,存储器 22 存储由控制器 20 的处理单元 24 执行的编程指令以具体化这个操作逻辑电路的至少一部分。替代地或另外地,存储器 22 存储由控制器 20 的操作逻辑电路操纵的数据。控制器 20 可包括执行本申请所述各种控制和调节操作所需的信号调节器、信号格式转换器(比如模数和数模转换器)、限制器、箝位电路、滤波器等。控制器 20 接收各种输入并产生各种输出以根据其操作逻辑电路执行下面所述的各种操作。

[0076] 图 2 示出了系统 10 的又一实施例,其具有发动机 12,发动机 12 具有定位于气缸 13 和气流 14 中的一个或多个往复活塞 C。对于发动机 12 的每个气缸 13,液体雾化器 18 和液滴分离器 16 定位于紧密地靠近气缸 13。一个实施例允许液滴正好在进入气缸 13 之前喷射入气流 14。一个实施例允许将由液体雾化器 18 雾化并由液滴分离器 16 分离的液滴直接喷射入气缸 13。在又一实施例中,每个液滴雾化器 18 替代地直接与气缸 13 相通而没有液滴分离器 16。每个液滴雾化器 18 经由管线 28 与控制器 20 相通以允许经由管线 26 基于每个气缸 13 中的湿式压缩性能分别对发动机操作参数进行优化。

[0077] 图 3 示出又一实施例,其中系统 10 包括具有与图 1 所示实施例类似的往复活塞 C 的发动机 12。发动机 12 包括进气流 14 和废气流 32。进气流 14 与液体雾化器 18 和液滴分离器 16 流体相通。废气流 32 与 EGR 系统 30 流体相通。水源 40 与 EGR 系统 30 相通以经由管线 42 从再循环废气接收水。水源 40 还与液体雾化器 18 相通以经由管线 44 将水供应至液体雾化器 18 以形成液滴。水源 40 还与液滴分离器 16 相通以经由管线 46 从由气流分离出来的大液滴接收水。

[0078] 不管等熵还是多变,压缩指数在由小水滴选择性且受控地喷射入往复发动机的进气引起的湿式压缩情况下调节。在一个实施例中,控制器 20 可负责收集发动机操作参数和建立相关发动机工作极限(operation limits)以引起有效且优化的压缩和燃烧状况同时限制发动机爆震和 NO_x 排放。

[0079] 各个发动机操作参数有助于发动机工作极限(operating limits)。大多往复发动机监控燃料质量、空气/燃料比和进气温度,因为这些参数每个都可能是发动机性能的因素。其他参数比如增压空气温度、增压空气密度和峰值压力能用来确定发动机工作极限或直接用作发动机工作极限。在控制爆震状况时,预点火温度能用作发动机工作极限。爆震检测器也可提供将用作发动机工作极限的读数。另外,NO_x 检测器可提供用于发动机工作极限的读数。

[0080] 发动机工作极限确定来优化发动机性能,包括避免发动机爆震、增大容积效率和增大总体峰值性能和效率。湿式压缩水平能计算,这允许对于发动机中活塞和气缸的每次循环控制发动机操作参数。一个实施例将包括能在一个循环一个循环的基础上改变的湿式压缩喷射计划。

[0081] 在逻辑电路(logic)执行再优化模块时,控制器 20 可调节另外的发动机操作参数,其中发动机状况基于用湿式压缩得到的性能。在图 4 中,一个实施例示出为具有装置 400,其包括具有示出为代表性模块、输入和输出的各种部件的控制器 420。

[0082] 发动机工作极限模块 405 构造为确定若干模块中的工作状况,这些模块可在湿式压缩水平响应于发动机工作极限而应用时受到控制。

[0083] 一个实施例示出为模块 430,其是预点火状况模块 430,构造为基于所检测的预点

火温度 432 和为优化发动机性能所选择的点火参数来确定发动机工作极限,包括期望温度变化。温度变化由湿式压缩模块 410 使用来确定能完成温度变化的湿式压缩水平。

[0084] 另一个实施例示出为模块 440,其是构造为确定发动机工作极限以允许动态地响应于发动机状况(比如但不限于燃料质量 442、空气/燃料比 444 以及进气或增压空气温度 446)的变化的适应性性能模块。发动机工作极限由湿式压缩模块 410 用来确定能完成发动机操作变化的湿式压缩水平。

[0085] 又一个实施例示出为模块 450,其是 HCCI 模块 450,构造来基于最近一个循环的自动点火状况 452 或按照活塞位置 454 的顺序选择来确保最佳点火的若干在前循环的函数来确定用于均质充量压缩点火发动机的发动机工作极限,包括自动点火定时。发动机工作极限由湿式压缩模块 410 用来确定能完成自动点火定时的湿式压缩水平。

[0086] 再一个实施例示出为模块 460,其是构造来基于爆震检测读数 465 来确定发动机工作极限的爆震减少模块 460。发动机工作极限由湿式压缩模块 410 用来确定能完成爆震减少的湿式压缩水平。

[0087] 模块 410 是湿式压缩水平模块 410,构造来确定湿式压缩水平以实现在模块 405 中确定的发动机工作极限。一个具体实施例可包括结合混合压缩计划 415 确定湿式压缩水平。

[0088] 模块 470 是喷射计划模块 410,构造来确定喷射量 472、喷射定时 474 以及喷射位置 476 以从模块 410 提供确定的湿式压缩水平。

[0089] 又一实施例示出为模块 480,其是再优化模块 480,构造来确定可在湿式压缩的爆震限度减少之后再优化的发动机性能参数。举几个例子,这些性能参数的一些可包括增大的增压 482、增大的压缩比 484、以及提前的火花定时 486。

[0090] 设想了本申请的很多其他实施例。期望在本发明中保护的是:

[0091] 一个实施例包括:具有至少一个活塞和气缸组以及进气流的往复式内燃机;至少一个与进气流流体相通的液体雾化器,其可操作来将多个直径范围小于 $10\ \mu\text{m}$ 的液滴提供给进气流;以及控制器,其中控制器可操作来通过以下方式以发动机循环为基础调节用于发动机的压缩指数:响应于发动机工作极限(比如预点火温度阈值,其可响应于一组当前发动机爆震检测器读数来确定)计算湿式压缩水平,以及响应于湿式压缩水平通过选择液体喷射量和选择液体喷射定时来调节所述至少一个液体喷雾器。

[0092] 本实施例的一个特点包括至少一个与进气流流体相通的液滴分离器,其定位于所述至少一个液体雾化器的上游和发动机的下游。另一个特点包括小于 $2.7\ \mu\text{m}$ 的直径范围。湿式压缩水平可包括其中液体量提供用于在其完全汽化之后转变至干式压缩状态的特点。

[0093] 又一特点可包括多个液滴喷射器、多个液滴分离器和多个活塞和气缸组,其中液滴喷射器和液滴分离器提供用于每个活塞和气缸组并且其中每个液滴喷射器和每个液滴分离器紧密地靠近每个活塞和气缸组。再一特点可包括响应于一组自动点火状况确定的发动机工作极限并且其中基于随着每个发动机循环而变化的一组发动机循环状况计算湿式压缩水平。

[0094] 另一实施例包括:操作具有至少一个活塞和气缸组以及进气流的往复式内燃机;雾化直径小于 $5\ \mu\text{m}$ 的多个液滴;将所述多个液滴提供给进气流;分离所述多个液滴;将气流中的所述多个液滴提供给发动机;以及基于进气流中的所述多个液滴优化发动机工作

极限,包括响应于发动机工作极限计算湿式压缩水平,和响应于湿式压缩水平通过选择液体喷射量和选择液体喷射定时来调节液体雾化器。将进气流中的多个液滴提供给发动机可包括根据液滴喷射器顺序将多个液滴喷射入进气流。

[0095] 又一实施例包括具有至少一个活塞和气缸组以及进气流的往复式内燃机;至少一个与进气流流体相通的用于雾化冷却剂的雾化装置,其可操作来将多个直径范围小于 $5\mu\text{m}$ 的冷却剂颗粒提供给进气流;以及可操作来通过以下装置调节用于发动机的等熵压缩指数的控制装置:用于检测发动机的爆震水平的装置;用于响应于发动机超过爆震阈值的爆震水平来计算湿式压缩水平的装置;以及用于响应于湿式压缩水平调节用于至少一个雾化装置的冷却剂雾化控制计划的装置。计算湿式压缩水平可包括在冷却剂颗粒被连续地提供时确定冷却剂颗粒的喷射量;以及当所述至少一个用于雾化冷却剂的装置能将设定量的冷却剂颗粒提供给进气流时确定提供喷射量的冷却剂颗粒的持续时间。

[0096] 又一创造性的装置包括:具有至少一个活塞和气缸组以及进气流的往复式内燃机;至少一个与进气流流体相通的液体雾化器,其可操作来将多个直径范围小于 $10\mu\text{m}$ 的液滴提供给进气流;以及控制器,其中控制器可操作来通过以下方式调节用于发动机的压缩指数:响应于发动机工作极限计算湿式压缩水平,以及响应于湿式压缩水平调节所述至少一个液体喷雾器。

[0097] 这种创造性的装置的特点包括:至少一个与进气流流体相通的液滴分离器,其定位于所述至少一个液体雾化器的下游和发动机的上游;小于 $5\mu\text{m}$ 或小于 $2.7\mu\text{m}$ 的直径范围;包括燃料/水混合物的多个液滴;调节所述至少一个液体雾化器还包括:选择液体喷射位置,选择液体喷射量和选择液体喷射定时;以及与所述至少一个液体雾化器流体相通的封闭系统水源。

[0098] 这种创造性的装置的其他特点可包括:具有预点火温度阈值的发动机工作极限,其中预点火温度阈值可响应于一组发动机爆震检测器读数来确定,和/或其中发动机工作极限响应于一组自动点火状况来确定并且其中计算湿式压缩水平基于随着每个发动机循环而变化的一组发动机循环状况。湿式压缩水平可包括确定为在其完全汽化之后转变至干式压缩的液体量。这种创造性的装置还可包括多个液滴喷射器、多个液滴分离器和多个活塞和气缸组,其中可为每个活塞和气缸组提供液滴喷射器和液滴分离器并且其中每个液滴喷射器和每个液滴分离器可紧密地靠近每个活塞和气缸组。调节压缩指数可基于一个发动机循环接着一个发动机循环 (on an engine cycle by engine cycle basis) 来执行。液体雾化器还可包括从由超声雾化、静电雾化和闪蒸雾化和其组合所构成的组中选择的工艺。

[0099] 又一实施例是一种方法,其包括:操作具有至少一个活塞和气缸组以及进气流的往复式内燃机;雾化直径小于 $5\mu\text{m}$ 的多个液滴;将所述多个液滴提供给进气流;分离所述多个液滴;将进气流中的所述多个液滴提供给发动机;以及基于进气流中的多个液滴优化发动机工作极限,包括响应于发动机工作极限计算湿式压缩水平,以及响应于湿式压缩水平通过选择液体喷射量和选择液体喷射定时来调节液体雾化器。

[0100] 这种方法的其他特点包括:通过根据液滴喷射器顺序将多个液滴喷射入进气流来将进气流中的多个液滴提供给发动机,并且液滴具有小于 $2.7\mu\text{m}$ 的直径范围。

[0101] 又一种创造性的装置包括:具有至少一个活塞和气缸组以及进气流的往复式内燃机;与进气流流体相通的用于雾化冷却剂的雾化装置,其可操作来将多个直径范围小于

5 μm 的冷却剂颗粒提供给进气流 ; 以及可操作来通过以下装置调节用于发动机的等熵压缩指数的控制装置 ; 用于检测发动机的爆震水平的装置 ; 用于响应于发动机超过爆震阈值的爆震水平来计算湿式压缩水平的装置 ; 以及用于响应于湿式压缩水平调节用于至少一个雾化装置的冷却剂雾化控制计划的装置。这个又一创造性装置的特点包括通过以下方式来计算湿式压缩水平 : 在冷却剂颗粒连续地提供时确定冷却剂颗粒的喷射量, 以及在所述至少一个用于雾化冷却剂的装置能将设定量的冷却剂颗粒提供给进气流时确定提供冷却剂颗粒的持续时间 ; 并且其中所述至少一个活塞和气缸组至少部分地包括绝缘材料。

[0102] 这里声明的任何理论、操作原理、证据或发现意在进一步提高本发明的理解并且不是要使得本发明以任何方式依赖于这种理论、操作原理、证据或发现。应当理解到, 虽然以上描述中使用的词语“优选”、“优选地”或“优选的”表明如此描述的特点可以是更加期望的, 但是其可以不是必要的并且没有所述特点的实施例可在本发明由所附权利要求限定的范围内预期。在阅读权利要求时, 在使用比如“一个”、“至少一个”、“至少一部分”之类的词语时, 这不是要将权利要求限制于仅一个项目, 除非权利要求中具体地声明为相反。另外, 在使用“至少一部分”和 / 或“一部分”的语言时, 该项目可包括一部分和 / 或整个项目, 除非具体地声明为相反。虽然本发明已经在附图和前述描述中示出和描述, 但是这些在性质上视为是示例性的而非限制性的, 理解为仅示出和描述了所选实施例并且期望保护落入本发明如这里或所附权利要求中限定的精神内的所有变化、变型和等同。

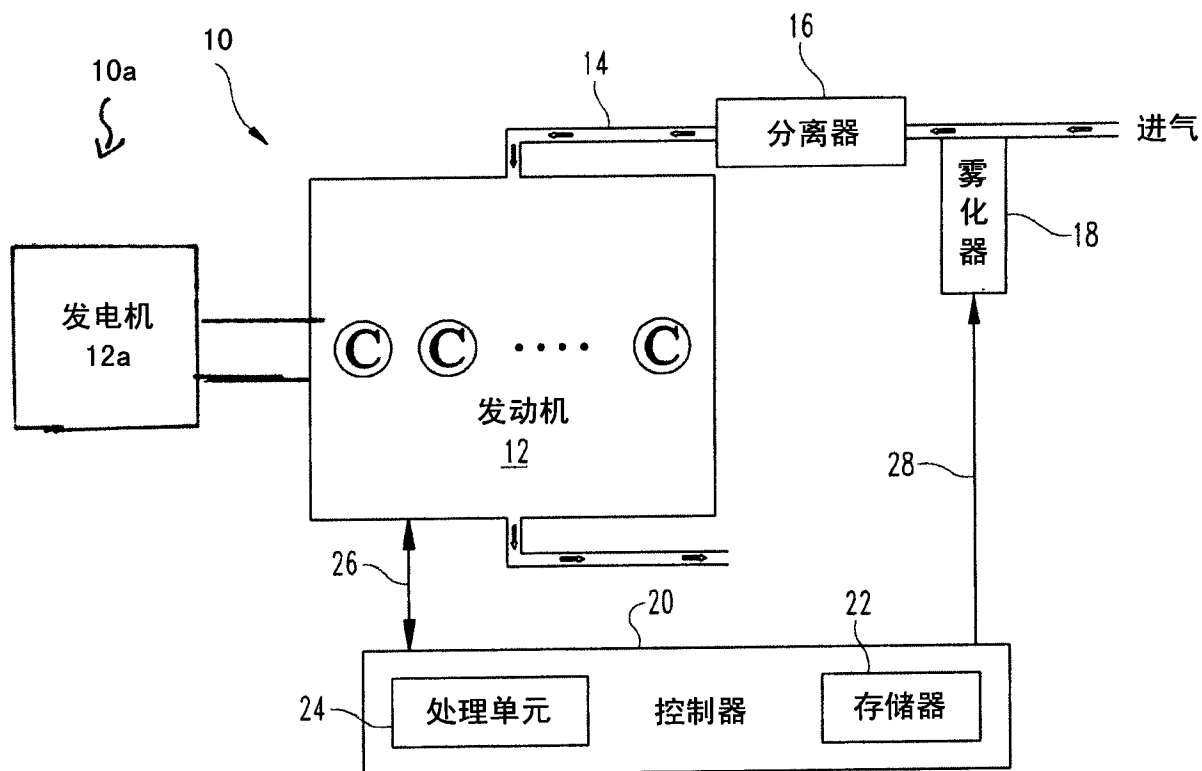


图 1

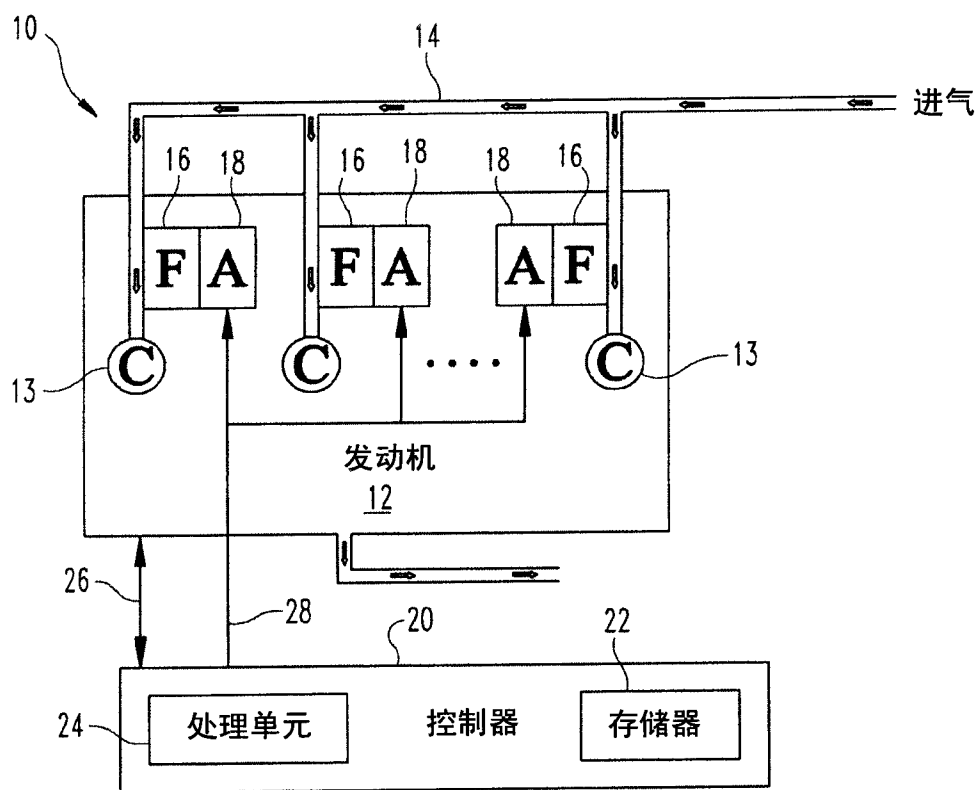


图 2

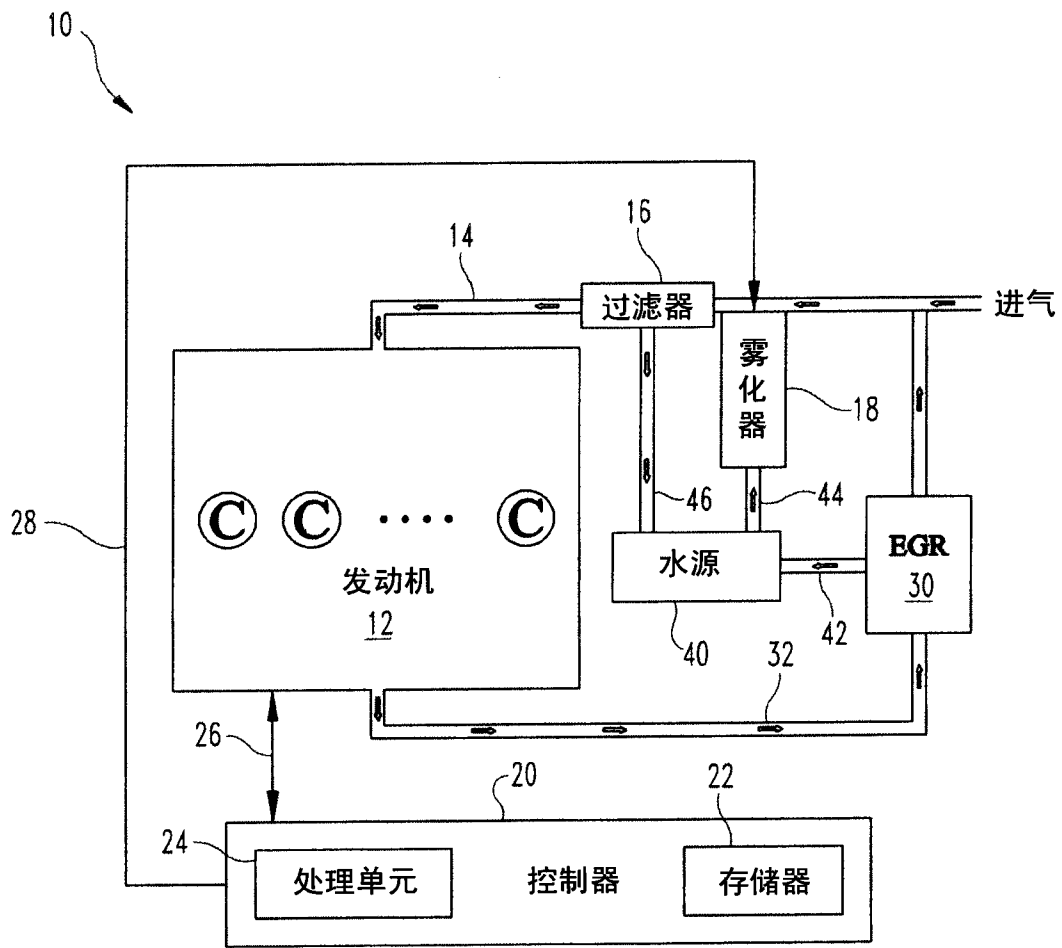


图 3

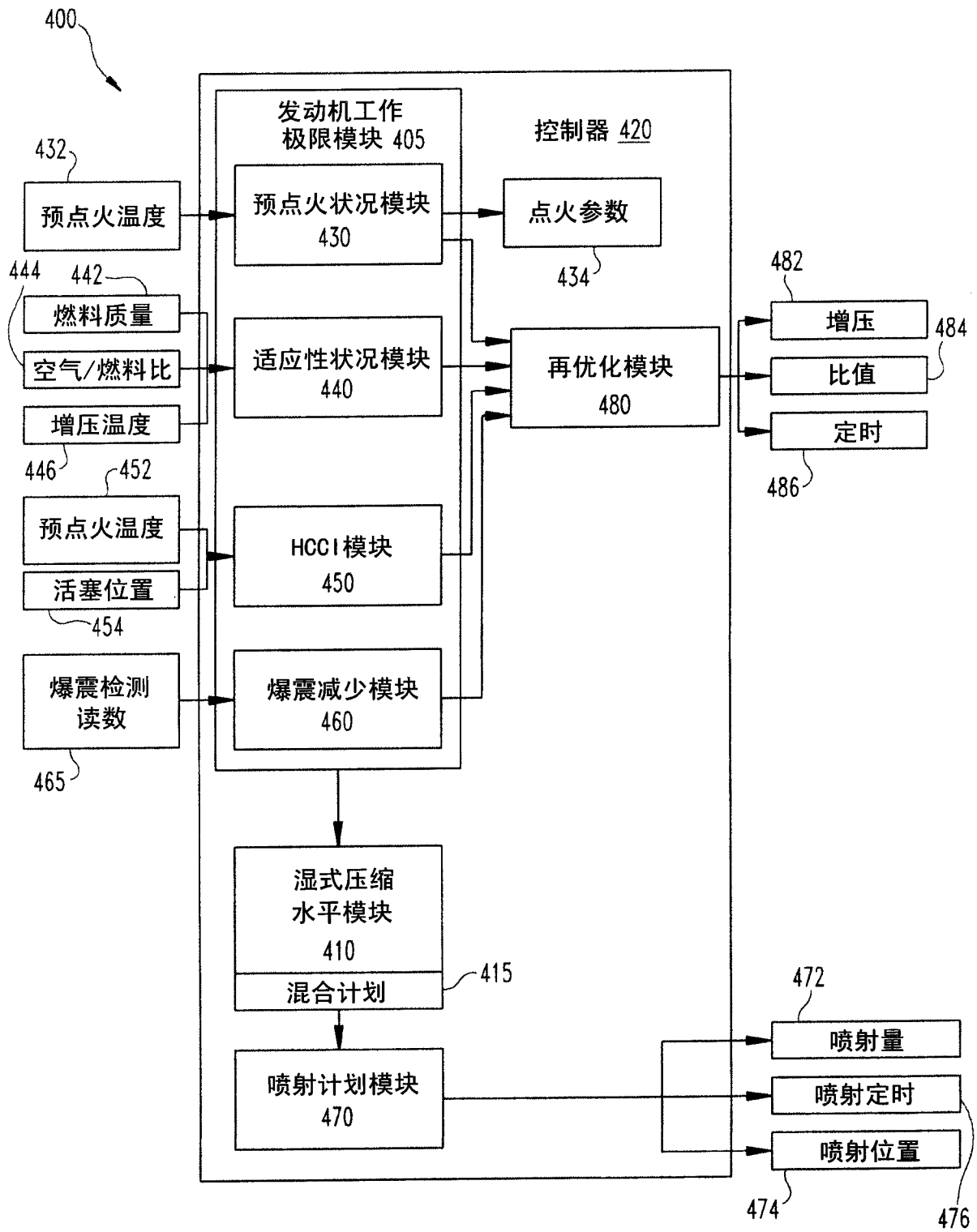


图 4