(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105143649 B
(45)授权公告日 2019.03.08

(21)申请号 201480023077.9
(22)申请日 2014.03.11
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105143649 A
(43)申请公布日 2015.12.09
(30)优先权数据
61/776,421 2013.03.11 US
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2015.10.23
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2014/023245 2014.03.11
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2014/164698 EN 2014.10.09
(73)专利权人 韦恩州立大学
地址 美国密执安
(72)发明人 F·A·A·埃斯特法努斯
S·梅克黑尔 N·A·赫内恩
(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 11038
代理人 许剑桦
(51)Int.Cl.
F02D 41/30(2006.01)
(56)对比文件
WO 2010/106259 A1,2010.09.23,
WO 2010/106259 A1,2010.09.23,
US 6550312 B1,2003.04.22,
JP 特开2006-183548 A,2006.07.13,
US 6935311 B2,2005.08.30,
US 2011/0251772 A1,2011.10.13,
US 4308519 A,1981.12.29,
US 5099681 A,1992.03.31,
US 4665737 A,1987.05.19,
US 4947680 A,1990.08.14,
CN 102454499 A,2012.05.16,
CN 101548094 A,2009.09.30,
审查员 边绍平

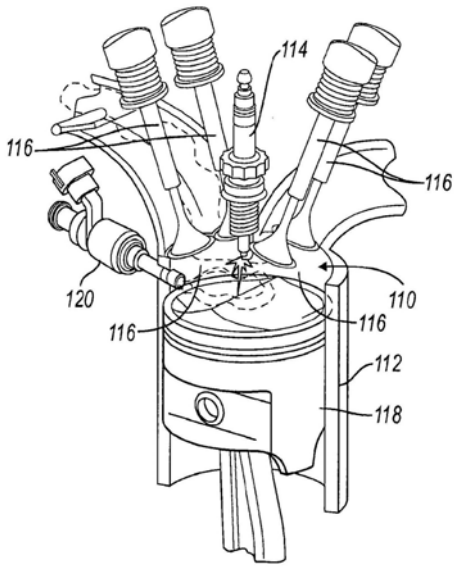
权利要求书1页 说明书9页 附图11页

(54)发明名称

内燃机中的预测校正

(57)摘要

本申请提供了一种用于减小发动机的循环之间变化的方法和系统。系统可以确定燃料喷射特征和根据燃料喷射特征来预测气体燃烧速率或火焰速度。系统可以响应预测的气体燃烧速率在相同发动机循环内调节点火正时。



CN 105143649 B

1.一种用于减小发动机的循环之间的变化的方法,所述方法包括:

确定燃料喷射特征;

根据燃料喷射特征来预测气体燃烧速率或火焰速度;以及

响应在相同发动机循环内的预测气体燃烧速率来调节点火正时;

其中,气体燃烧速率或火焰速度通过由第一离子电流信号正时和第二离子电流信号正时来预测火焰到达燃烧室内部一个或多个位置来确定。

2.根据权利要求1所述的方法,其中:燃料喷射特征至少由霍尔效应信号、电流探针信号、针阀升程传感器信号或者燃料传送速率传感器信号来确定。

3.根据权利要求1或2所述的方法,其中:燃料喷射特征包括幅值、长度、斜率、正时、峰值和/或轮廓中的至少一个或者组合。

4.根据权利要求1所述的方法,其中:气体燃烧速率通过比较第一离子电流信号的开始、结束、峰值或形心中的至少一个的正时与第二离子电流信号的开始、结束、峰值或形心中的至少一个的正时来确定。

内燃机中的预测校正

[0001] 相关申请

[0002] 根据35U.S.C.§119(e),本专利文献要求美国临时专利申请No.61/776421的优先权,该美国临时专利申请No.61/776421的申请日为2013年3月11日,标题为“Predicitive Correction In Internal Combustion Engines”,该文献的全部内容结合到本申请中,作为参考。

发明内容

[0003] 提供了一种用于降低发动机的循环之间变化的方法和系统。系统可以确定燃料喷射特征以及根据燃料喷射特征来预测气体燃烧速率或火焰速度。系统可以响应预测气体燃烧速率在相同发动机循环内调节点火正时。

附图说明

[0004] 图1是汽油直喷(GDI)的燃烧室的剖视图;

[0005] 图2是离子电流探针电路的示意图;

[0006] 图3是在燃烧循环中测量的信号的曲线图;

[0007] 图4是在燃烧循环中测量的信号的曲线图;

[0008] 图5是在燃烧循环中测量的信号的曲线图;

[0009] 图6是在燃烧循环中测量的信号的曲线图;

[0010] 图7是在燃烧循环中测量的信号的曲线图;

[0011] 图8是在燃烧循环中测量的信号的曲线图;

[0012] 图9是在燃烧循环中测量的信号的曲线图;

[0013] 图10是在燃烧循环中测量的信号的曲线图;

[0014] 图11是在燃烧循环中测量的信号的曲线图;

[0015] 图12是在燃烧循环中测量的信号的曲线图;

[0016] 图13是在燃烧循环中测量的信号的曲线图;

[0017] 图14是在正常燃烧循环中测量的信号的曲线图;

[0018] 图15是在正常操作过程中3个连续燃烧循环之一的曲线图;

[0019] 图16是在接近爆震时3个连续燃烧循环之二的曲线图;

[0020] 图17是在爆震发生时3个连续燃烧循环之三的曲线图;

[0021] 图18是在接近爆震时2个连续燃烧循环之一的曲线图;

[0022] 图19是在爆震发生时2个连续燃烧循环之二的曲线图;

[0023] 图20是在接近爆震时2个连续燃烧循环之一的曲线图;

[0024] 图21是在爆震发生时2个连续燃烧循环之二的曲线图。

具体实施方式

[0025] 1.感测操作参数

[0026] 本发明涉及一种用于使得燃料传送速率与内燃机的燃烧室内部的火焰速度或燃料燃烧速率相关联的新技术。燃料传送速率可以通过不同方法来检测，例如霍尔效应传感器、电流探针、针阀升程传感器或者燃料传送速率传感器。火焰速度或燃料燃烧速率可以通过测量火焰在燃烧室内部传播特定已知距离所需的时间来检测。该距离可以是在插入燃烧室内部的任意两个或多个传感器之间，该传感器能够检测火焰到达特定位置。这样的传感器包括但不局限于离子电流传感器、光学传感器或者任何能够在暴露于火焰中时产生电信号的传感器。本发明还可以涉及一种用于监测在发动机的燃烧室内部的燃料燃烧速率或火焰速度的新技术，以便在异常发动机操作发生之前预测它。

[0027] 本发明中的数据利用包括作为霍尔效应传感器的燃料喷射器和用于检测燃料传送速率的电流探针的本发明系统实施方式来记录。系统还包括两个离子电流传感器，第一个布置在火花塞上，第二个布置在燃料喷射器的尖端，以便确定经过已知距离在燃烧室内部的燃烧速率。在用于口喷射汽油发动机(该口喷射汽油发动机并不将燃料喷射器应用于燃烧室内部)的另一实施方式中，两个离子传感器可以包括布置在火花塞处的第一电离电流传感器以及位于燃烧室内部已知距离处的第二电离电流传感器。在另一结构中，两个或多个离子传感器可以包括布置在燃烧室内部一定距离处的任意探针。

[0028] 讨论的系统和方法的一些优点可以包括预测和控制循环之间的变化，从而能够减小发动机怠速、降低发动机振动以及减少在多个发动机负载和速度下的燃料消耗。本发明还可以提供为用于通过多种燃料来高效操作发动机，并在燃烧状态(HCCI、SA-HCCI、分层装料、普通汽油等)之间转换时控制发动机操作。本发明的其它优点还可以包括通过预测和避免随机预先点火和发动机爆震而扩展发动机的功率限制。

[0029] II.循环之间的变化的预测和控制

[0030] 在发动机操作中在循环之间的变化可以引起与内燃机的操作相关的多个问题。一个最突出的问题是发动机热效率由于这种变化而降低，特别是当施加给发动机的负载降低时。也就是，当发动机的负载降低时，循环之间的变化增大。在正常操作情况下，根据施加给发动机的负载，在循环之间的变化可以引起至少20-40％的峰值气缸压力变化。限制循环之间的变化可以用于增加燃料经济性，特别是在城市驾驶和繁忙交通的情况，这包括较多车辆堵塞。

[0031] 限制燃料经济性提高的主要问题是当前的诊断方法不能预测在稳态发动机操作情况下在循环之间的变化。现代发动机可以使用不同的技术，例如可变正时，以便提高效率，但是这种方法依赖于燃烧处理稳定和在发动机循环中可重复的假定条件。在这种情况下，火花正时在相同发动机操作条件下固定。这里讨论的系统和方法提供了这样的系统，该系统能够根据燃料传送速率来预测表示在发动机中在循环之间的变化的一些因素，并重新调节控制参数，例如在相同循环内的火花正时。该系统的多个实施方式可以提供用于在内燃机操作中限制循环之间的变化和提高燃料经济性的系统和方法。

[0032] 参考图1，图中表示了汽油直喷(GDI)的燃烧室。气缸112的燃烧室110可以大致包括火花塞114、四个阀116、活塞118和燃料喷射器120。

[0033] 在该实施方式中，燃烧室110可以包括传感器116，用于测量燃料传送速率和燃烧速率。传感器可以是离散的，或者组合在一个或多个其它部件中。在一个特殊实施方式中，燃料喷射器120可以应用为霍尔效应传感器，以便限制在燃烧室内的传感装置。该传感器用

于获得在燃烧室内的燃料传送速率。电流探针也添加在燃料喷射器螺线管的电绕线周围。

[0034] 燃料传送速率可以通过霍尔效应传感器、针阀升程传感器、燃料传送速率传感器或者电流探针来测量。在燃料经过燃料喷射器时，霍尔效应传感器可以通过由霍尔效应传感器检测的特征信号来确定燃料传送给气缸的速率。火焰速度或燃烧速率可以通过火焰在燃烧室中传播特定确定距离所花费的时间来确定。在该实施方式中，燃料喷射器从标准的燃料喷射器变化成包括多感测电路，该多感测电路包括霍尔效应传感器和电离电流探针。能够有类似能力的多感测燃料喷射系统可以在美国专利申请No.13/386028中找到，该文献整个结合在本文中，作为参考。在其它实施方式中，电离传感器可以包括布置在不同位置中的多个传感器。通常，分开已知距离的、能够感测燃烧火焰的两个或更多传感器可以用于计算燃烧速率。其它实施方式可以包括两个或更多电离电流探针、光学传感器或者任意其它能够检测在传感器附近的燃烧的传感器。

[0035] 电离电流传感器可以设置成至少测量燃烧速率，该燃烧速率测量为电离火焰从第一传感器运行至第二传感器所需的时间的函数。在本实施方式中，两个传感器可以包含在火花塞和燃料喷射器喷嘴中，如图1中所示。在正常操作情况下，点火信号可以驱动火花塞，从而在火花塞间隙中引起火花电弧。在点火时，火花塞可以点燃在燃烧室中的燃料。包含在火花塞中的电离传感器可以再感测燃烧。在燃烧火焰膨胀通过燃烧室之后，在燃料喷射器中的电离传感器可以测量当火焰接近传感器时的燃烧电离电流。火焰从火花塞的电离传感器运行至燃料喷射器的电离传感器所需的时间可以进行测量，以便确定在燃烧室中的燃烧速率。

[0036] 图2中表示了用于电离电流探针的总体电路示意图。电路可以通过测量电流变化来起作用，该电流变化反映在与气缸210内的燃烧相对应的情况下存在带电离子。信号调节模块220可以用于过滤和处理由电离探针222通过检测横过具有已知电阻的电阻器224的电压的变化而检测的电流信号。数据获取模块226还可以根据曲柄角度来提供关于当前发动机正时的信息，例如通过轴编码器228来测量，并记录来自电离探针222的电流变化。

[0037] 燃料喷射器230还可以包括霍尔效应传感器。霍尔效应传感器可以通过当用于打开燃料喷射器的针的通电信号经过喷射器线圈时检测图2的电路中的阻抗变化而检测燃料传送速率。这些传感器有一种实施方式，该实施方式可以用于测量由本发明施加的信号，以便通过减少低效率的变化和防止其它可能有害的异常情况(这些可能在发动机燃烧循环过程中产生)而预测和提高气缸中的燃烧。

[0038] 图3是表示在燃烧发动机的正常燃烧循环过程中测量的信号的曲线图。曲线表示由燃料喷射器310(霍尔效应传感器和电离电流传感器)、火花塞电离电流传感器312和电流探针314测量的多种信号。这些信号与点火信号316和气缸压力318比较地用曲线表示。这些信号可以用于确定燃料传送给气缸的速率以及火焰速度或燃料燃烧速率。由这些信号，燃料传送速率可以用于预测和控制在发动机循环内的燃料燃烧速率，以便限制循环之间的变化和提高燃料经济性。由用于监测火焰速度的离子传感器获得的信号可以用作反馈信号，以便在发动机操作过程中验证预测的精度和精细调节(自调整)预测能力。

[0039] 如前所述，在该实施方式中，燃料喷射器可以改变为包括霍尔效应传感器和电离电流传感器。在曲线图的左侧，包含在燃料喷射器中的霍尔效应传感器测量燃料传送速率和燃料在燃料喷射器中传送的正时。类似的，图3中所示的电流探针信号也可以用于测量燃

料传送速率。由燃料传送速率，在发动机的各燃烧循环中的燃烧速率可以用高等级精度预测。

[0040] 在曲线的右侧，离子电流由燃料喷射器的电离电流传感器来测量。曲线表明在燃料喷射器处测量的电离电流随着气缸压力而增加。而且，火花塞上的电离电流传感器还随着在火花塞处测量的电离电流和气缸压力而增加，但是在火花塞处测量的离子电流信号在时间上先于在燃料喷射器处测量的电离电流，因为火焰在火花塞附近开始，并朝着燃料喷射器传播。

[0041] 下面参考图4至6，曲线表示为表明在相同稳态发动机操作状态下两个连续的发动机循环，它们表示为表明测量信号之间的关系。循环1表示为实线，并表明峰值气缸压力和电离电流都在幅值上更大和先于表示为虚线的循环2。点火信号由参考标号410表示。循环1的发动机压力由参考标号420表示，循环2的发动机压力由参考标号422表示。循环1的燃料喷射器由参考标号430表示，循环2的燃料喷射器由参考标号432表示。循环1的火花塞离子信号由参考标号440表示，循环2的火花塞离子信号由参考标号442表示。循环1的电流探针信号由参考标号450表示，循环2的电流探针信号由参考标号452表示。

[0042] 当比较点火信号与峰值气缸压力和电离电流时，循环之间的变化是明显的。尽管点火信号在各循环中几乎精确地同时驱动，但是峰值压力的正时和量有较大变化。根据发动机操作参数，循环之间的变化可以更大。

[0043] 下面参考图5，图4的视图的放大图表示为表明循环之间的变化。对于所有测量值，第二循环表示为尾随第一循环。这种比较可以表明在燃料喷射器离子探针、火花塞离子探针和测量的气缸压力之间的恒定关系特性。

[0044] 下面参考图6，电流探针和燃料喷射器霍尔效应传感器的预测值也可以明显。在第一循环中，与第二循环中相比，电流探针和霍尔效应传感器在更早时间开始和在更迟时间稳定。由电流探针和霍尔效应信号(与气缸中的火焰速度相关)的这种关系以及类似的识别分量和特征，燃烧速率可以预测，点火正时可以进行调节，以便独立地限制在每一个发动机气缸中的循环之间的变化。

[0045] 如前所述，循环之间的变化可以在发动机负载降低时增加。图7是表明在1650RPM在125Nm时的稳态操作下气缸的喷射器离子信号712和压力710的循环之间变化(a-c)的曲线。还表示了热量释放速率(RHR)714。在本例中峰值压力的变化接近20％。在燃料喷射器处离子电流传感器测量值表明信号与在气缸中测量的实际压力的关系。这种关系可以以后用于确定在气缸中的精确点火正时。

[0046] 图8表明当发动机负载在1500RPM下减小至75Nm时在循环之间的变化(a-d)增加。由燃料喷射器在燃烧室侧获得的离子电流信号810与压力810变化相关联。因此，峰值压力的波动在降低负载时明显大得多。在这些条件下在峰值气缸压力中的循环之间变化增加至接近50％。还表示了RHR 814。

[0047] 因此，减小在循环之间的变化(特别是在降低负载的时期中)的优点明显提高了燃料经济性。这些结果提示当车辆空转时，它的性能可以通过降低这种变化而明显提高。通过减小在循环之间的变化，也可以保持峰值压力，以便最大化发动机性能和燃料经济性。

[0048] 参考图9和10，另外的试样结果分别表示为在1650RPM在125Nm下和在2000RPM在90Nm下操作的发动机。在图9中，气缸压力表示为线组910。喷射器信号表示为线组912，电流

探针信号表示为线组914。在图10中，气缸压力表示为线组1010。喷射器信号表示为线组1012，火花塞离子信号表示为线组1014。

[0049] 参考图11和12，包括100个连续循环的另外试样结果表示为在2000RPM在90Nm下操作的发动机。在这种情况下，可以知道，点火信号相当恒定，不过产生循环之间的变化。在图11中，气缸压力表示为线组1110。喷射器信号表示为线组1112，火花塞离子信号表示为线组1114，喷射信号表示为线组1116，点火信号表示为线组1118。在图12中，电流探针表示为线组1210，喷射器霍尔效应信号表示为线组1212。

[0050] 图12中所示的结果表明在大量试样中在霍尔效应和电流传感器中的变化。在这些信号的特征中的变化用作在气缸中的燃烧的特定正时的预测器。发动机的、在循环之间的变化可以通过改变点火信号的正时来限制，以便限制该变化。另一方法可以包括控制燃烧速率。

[0051] 算法可以发展成利用霍尔效应传感器来预测火焰将到达喷射器尖端的时间，还可以预测在气缸中的火焰速度。在操作中，系统可以从霍尔效应传感器信号来预测燃烧速率，并在闭环反馈环路中测量该预测值，以便保证精确地限制变化。这种方法能够回顾循环之间的变化，以便保证尽可能多地限制该变化。这种分析的细节将在后面更详细地提供。

[0052] 电流探针或霍尔效应传感器的特征(下文中为预测信号)可以用于预测在各气缸中的火焰速度或燃烧速率。在一些实施方式中，检测预测信号的开始和结束可以用于确定火焰速度或燃烧速率。在其它示例中，更先进的算法可以用于测量预测信号曲线的斜率、峰值测量值的相对正时以及在曲线下面的面积。一个或多个这些特征可以进行测量和计算，以便提供用于多项式等式的一个或多个系数。然后，该等式可以用于预测在特定气缸中的燃烧速率。预测还可以对应于离子电流的开始或者在两个或更多离子电流传感器的峰值之间的差异，它们与火焰速度或燃烧速率直接相关。预测还可以对应于在第一传感器的离子电流开始和第二离子传感器的离子电流信号开始之间的时间。它还可以是在2个峰值之间、开始至峰值、结束至峰值、峰值至开始、结束至开始和任意其它类似关系的时间。

[0053] 一旦确定了在气缸中的燃烧速率，用于该特殊气缸的点火正时可以进行调节，以便限制循环之间的变化。为了证明和对燃烧速率预测进行校正和精确调整，离子电流传感器可以用于形成闭环反馈。各循环的燃烧速率可以由离子电流传感器来测量，以便确定在气缸中的特定燃烧正时。一种方法可以包括检测在火花塞中的离子电流的峰值和在燃料喷射器的离子电流中的峰值。其它方法可以包括测量其它可识别的信号特征，包括在各循环中离子电流信号的开始或结束、在一段时间中比较的在各曲线下面的面积或者任意其它可识别的特征。

[0054] 在操作中，理想的是，由于根据预测信号的校正，正时将不会变化。不过，经过一段时间，当发动机退化时，信号可能需要进行调节、重新标定和更新，以便保证尽可能多地限制循环之间的变化。在该实施方式中，离子电流传感器可以检测在循环之间的变化，并提供第二算法，该第二算法可以用于由预测信号校正正时。一个或多个电离电流信号特征可以进行测量和计算，以便提供用于多项式等式的一个或多个系数。该等式可以再用于测量在特殊气缸中火焰传播的实际正时。

[0055] 一旦计算了预测信号和测量了实际火焰传播正时，由两个信号的输出可以进行比较，并可以对预测信号的算法系数进行调节。在另一实施方式中，可以应用第三算法以根据

比较来调节和更新预测正时。这里公开的方法还可以包括比较这里介绍的信号，以便预测在气缸中的燃烧正时。

[0056] 通常，公开的方法用于检测气缸的燃料传送速率和应用算法，以便使用燃料传送速率信号的特征来预测燃料燃烧的速率、火焰速度或气缸中的燃烧正时。然后可以在相同循环中或在随后循环中调节火花点火或燃料传送的正时或者任意其它发动机控制参数，以便限制循环之间的变化。燃料燃烧速率的特征也可以由多个源来进行检测或测量，并用于确定气缸中的实际燃烧速率。然后，实际燃烧速率可以进行比较，以便证明由燃料传送速率信号的预测精确限制了循环之间的变化。

[0057] 下面参考图13，图中表示为根据在燃料喷射器喷嘴附近的离子电流开始(SIC)来表明循环之间的变化。燃料传送速率用于预测在燃料喷射器处的离子电流的开始。曲线表示了在基于循环的预测值1310和测量值1312之间的比较。

[0058] 由预测信息，方法可以用于变换在相同循环内点火控制器的特定正时。通过调节火花点火正时以便补偿预测变化，系统可以基本减小循环之间的变化和最小化图13中所示的波动。

[0059] 为了能够有可适应的系统，用于预测燃烧正时的算法也可以根据特殊发动机、燃料类型和操作条件来调节。这些设置可以首先通过诊断系统来标定，该诊断系统可以集成在车辆中或者作为在自动服务中心处提供的服务。这种实施方式还能够使得系统在整个操作中进行验证和对于任意燃烧发动机进行调节。

[0060] III.发动机爆震的预测和控制

[0061] 与在部分I中所述的系统相关的另一实施方式可以提供能够预测发动机爆震的系统。通常在发生火花、火焰开始传播和在火焰前部到达之前废气自动点火时引起发动机爆震。这可能导致提前点火以及发动机磨损和损坏。当前技术可以提供能够检测发动机爆震的爆震传感器，但是当前系统没有提供可以在较早循环中预测爆震和防止爆震发生的发动机控制系统。通过实施在部分II中介绍的离子电流传感器，本发明提供了能够对于特殊气缸在前面的气缸燃烧循环中预测爆震和防止它在当前气缸燃烧循环中发生的方法和系统。

[0062] 参考图14，图中表示了对于三个点火循环测量的信号。气缸压力由参考标号1410a-c表示，燃料喷射离子信号由参考标号1412a-c表示，火花塞离子信号由参考标号1414a-c表示。与部分II类似，表示了两个离子电流传感器的测量值以及气缸压力，这两个离子电流传感器中的第一个布置在火花塞处，第二个布置在燃料喷射器处。三个循环是用于三种不同发动机负载：50Nm(a)、100Nm(b)和150Nm(c)。在正常操作中，火花塞离子电流传感器的第一峰值和第二峰值在燃料喷射器离子电流传感器的峰值之前。还有，当压力增加时，火花塞离子电流信号的峰值更接近燃料喷射器离子电流信号的峰值。当这些峰值更接近在一起时，发动机爆震发生的可能性增加。因此，可以根据在峰值之间的距离来计算爆震预测。

[0063] 下面参考图15至17，图中表示了对于三个连续气缸燃烧循环(分别是循环80-82)的一系列离子电流曲线图。附图表示了四个信号：气缸压力1510、燃料喷射器的离子电流传感器信号1520、火花塞的离子电流传感器信号1530和由压力轨迹计算的RHR 1540。

[0064] 从循环80过渡至循环81，可以看到火花塞离子电流信号的第二峰值从在喷射器离子电流信号峰值之前发生移动至在燃料喷射器离子电流信号峰值之后。喷射器离子电流传

感器的斜率也可能在这些状态下增大。在这些状态或类似状态下，发动机控制单元可以获知该状态，并在特定气缸的控制中采取预防动作。

[0065] 下面从循环81过渡至循环82，由于没有在监测的气缸中采取预防动作，已经记录到爆震。燃料喷射器的离子电流信号的双峰和较高离子电流升高速率以及在RHR信号中的增大变化表明爆震已经发生。在本例中的爆震并不严重，如在后面的曲线图中所示；不过，系统能够预测以后的发动机爆震。

[0066] 通常，当燃料喷射器离子电流信号的峰值比火花塞的第二峰值更早时表明了非常明显的趋势。这是爆震已经开始产生的指示。在喷射器离子电流传感器中的振荡增加可以反映爆震的严重性。喷射器离子电流信号通常比从火花塞获得的信号更灵敏，因为发动机爆震的开始通常更接近燃烧室侧部(而不是在中心)。通过监测燃料喷射器和火花塞的电离电流信号，可以避免爆震。

[0067] 通过监测火焰速度，发动机控制器能够预测在随后循环中发生的爆震，以便调节特定气缸的控制参数，以防止爆震发生。可以防止危害性爆震发生的一些方案包括：延迟点火信号和因此延迟在燃烧室中的火花、更早地释放一个或多个气缸阀、以及多次喷射(例如将燃料喷射分成两个或更多间隔)。在本发明的精神中可以获得多种其它方案。这里公开为用于避免发动机爆震的预测响应可以主要涉及多种用于防止爆震的方案。

[0068] 下面参考图18和19，发动机爆震的更严重情况的预测示例表示于两个连续气缸循环中(分别为循环150和151)。附图表示了四个信号：气缸压力1810、燃料喷射器的燃料喷射器信号1820、火花塞的离子电流传感器信号1830和由压力轨迹计算的RHR 1840。

[0069] 下面参考图20和21，预测爆震的另一示例表示于两个连续气缸循环中。附图表示了四个信号：气缸压力2010、用于检测爆震的加速计2020、燃料喷射器的燃料喷射器离子信号2030和火花塞的离子电流传感器信号2040。

[0070] 一旦爆震开始，它可能导致更严重的问题。在很多情况下，它可能由于进一步的异常燃烧特征而继续发生。尽管爆震可能不会在较短时期内对发动机造成较大损坏，但是爆震可能导致提前点火。提前点火可能对发动机特别有害。爆震和提前点火是由在燃烧过程中的单独现象引起，但是它们都导致燃烧室温度增加，这也可能是它们发生的起作用因素。这意味着任一异常情况的发生可能进一步增加其它异常情况发生的可能性。这里公开的系统和方法的预测能力可以用于防止燃烧异常，但是它也可以用于通过提高发动机的峰值输出而提高性能。如在部分IV中进一步所述，这里公开的系统和方法还可以用于在提前点火发生之前预测和校正它。

[0071] 保持峰值压力位置和幅值还可以用于使得发动机在更高负载下安全操作。在更高负载下操作可以特别有利于在增加压力和负载状态下操作的发动机(例如涡轮增压发动机)。如在图14中所示，压力的增加可以与在图15至21中表明的相同性能趋势直接相连。当施加给发动机的压力或负载增加时，火花塞的离子电流信号的第二峰值拉动成更接近燃料喷射器离子电流信号的峰值。这种性能有可能导致在涡轮增压发动机和任意其它在更高压力和/或负载需求下操作的发动机类型中的爆震。

[0072] 通过在爆震发生之前识别爆震的特征，这里公开的系统和方法可以提供先进的发动机控制系统，该发动机控制系统可以调节点火正时、阀释放、燃料喷射策略以及其它发动机控制参数和它的燃烧，以便防止爆震。这里应用的控制方法还可以用于增加效率和防止

燃烧异常，该燃烧异常在当前限制了发动机的性能能力。这里公开的方法和系统可以用于在爆震开始之前预测和校正该爆震，因此还可以用于提高性能和负载潜力，从而能够有更高水平的效率和性能。

[0073] IV.提前点火和随机提前点火的预测和控制

[0074] 与在部分III中所述类似的系统和方法还可以用于预测在内燃机中的提前点火。如在部分II中所述，发动机爆震和提前点火是由不同现象引起，因此，它们可能需要不同的预测方法。提前点火可以由严重的爆震情况引起。另一方面，随机提前点火的原因并不知道，它在发动机平滑和稳定操作时预料不到地发生。提前点火的发生可以通过这里公开的、用于检测燃烧室中的燃烧速率的方法和系统的多个实施方式来预测和预防。

[0075] 当发动机负载增加时，在由火花塞和燃料喷射器电离电流传感器获得的离子电流峰值之间的距离减小。在提前点火时，由燃料喷射器获得的离子电流信号可以发生为比火花塞早得多(在与点火信号相关的第一火花通电峰值之前)。在提前点火开始为更接近火花塞离子传感器的情况下，火花塞的离子电流信号中的波动也可以在点火信号之前产生。另外，在提前点火循环之前的循环中离子电流信号的特征中的异常也可以用于预测提前点火的产生。一旦预测，可以通过调节发动机控制参数来避免在特定气缸中的提前点火。

[0076] 提前点火的预测可以与在火花正时之前波动的燃料喷射器电离电流相关，在该火花正时中由火花塞产生火焰，该火花塞布置在气缸的中心处，并可以到达气缸的外壁，燃料喷射器布置在该外壁处。类似的性能也可以通过光学传感器、电离电流传感器或其它能够检测点火的传感器来监测。在另一实施方式中，能够检测离开火花塞的燃烧活动的单个电离电流传感器可以与点火信号比较，以便监测早期燃烧或与提前点火相关的状态。

[0077] 通过公开的系统和方法来预测提前点火可以包括检测异常情况，该异常情况通过燃料喷射离子电流传感器或火花塞离子电流传感器或者任意其它布置在燃烧室内部的火焰检测器来检测。可以检测的活动可以大致介绍为在正常燃烧循环的活动之前的测量离子电流，如图15中所示。参考图15，可以知道，在正常燃烧循环中，在点火信号和火花塞电离电流信号的第一峰值之前，在燃料喷射电离电流传感器中没有检测到活动。不过，在提前点火情况下，至少在火花塞的点火正时之前可以有明显的活动。活动可以不是对于燃料喷射电离电流传感器所示的严重性、斜率或精确正时，而是相信在另外的随机提前点火信号(该随机提前点火信号可以被检测)之前在循环中产生一些可测量的现象。一旦检测到这种预测性能，可以通过调节多个发动机操作参数中的一个来防止它。

[0078] 在另一实施方式中，在部分II中介绍的燃料喷射特征也可以用于预测在当前或随后燃烧循环中的提前点火。霍尔效应传感器、电流探针、针阀升程传感器或者任意其它燃料传送速率传感器可以用于确定气缸的燃料喷射特征。一个或多个燃烧循环的燃料喷射特征可以用于预测在气缸中的燃烧速率的特征。这些因素和在本发明中所述的其它因素可以用作在包括一个或多个多项式等式的预测算法中的系数，以便进行预测和/或在多个发动机操作参数中的一个的调节中考虑。

[0079] 公开的方法和系统提供为能够检测和预测前面公开的、关于提前点火的性能的以后发生。本领域技术人员显然考虑到由多种传感器测量的多种其它类似的信号异常可以类似地用于等效地实现所述的系统和方法，该传感器能够监测在燃烧室内存在燃烧或增加热量。在一个实施方式中，在燃烧循环中的异常可以由火花塞电离电流传感器或者由燃料喷

射器电离电流传感器和火花塞电流电离信号来检测。在其它实施方式中，预测信号可以由其它传感器(包括但不局限于光学传感器)来识别。

[0080] 通过在提前点火发生之前识别提前点火的特征，这里公开的系统和方法可以用于先进发动机控制系统，该先进发动机控制系统可以调节点火正时、阀释放、燃料喷射特性、气缸压力和其它操作参数以及它们的组合，以便防止提前点火。这里应用的控制方法还可以用于增加效率和防止燃烧异常，该燃烧异常在当前限制了发动机的性能能力。这里公开的方法和系统可以用于在提前点火发生之前预测和校正它，因此可以用于提高性能和负载潜力，从而能够有更高水平的效率和性能。

[0081] V.结论

[0082] 公开的预测方法和系统也可以通过传感器的多种组合来预测和控制，这些传感器可以布置在不同位置中，还可以包括能够监测燃烧、流速、电流变化和公开的任意其它诊断信号或类似信号的其它装置，而并不脱离本发明的范围。公开的方法和系统可以用于预测和校正循环之间的变化、爆震、提前点火以及任意其它相关或组合的内部燃烧特征。

[0083] 这里所述的任何传感器或探针可以与电路或处理器连接，用于估计和进一步处理。在一些实施例中，专用的硬件器具(例如特殊应用的集成电路、可编程逻辑阵列和其它硬件装置)能够构造成实施这里所述的一个或多个方法。可以包括多个实施例的装置和系统的申请能够广义地包括多种电子和计算机系统。这里所述的一个或多个实施例可以利用两个或更多专用相互连接硬件模块或装置来实施功能，这些硬件模块或装置具有能够在模块之间和通过模块来通信的相关控制和数据信号，或者用作专用集成电路的一部分。因此，本发明系统包含软件、固件和硬件器具。

[0084] 根据本发明的多个实施例，这里所述的方法可以通过可由计算机系统执行的软件程序来实施。而且，在示例和非限定的实施例中，器具可以包括分布处理、部件/目标分布处理和平行处理。也可选择，虚拟计算机系统处理能够构成为实施如这里所述的一个或多个方法或功能。

[0085] 而且，这里所述的方法可以实施为计算机可读介质。术语“计算机可读介质”包括单个介质或多个介质，例如中心或分布数据库，和/或相关高速缓冲存储器和服务器，它们储存一组或多组指令。术语“计算机可读介质”还将包括能够储存、编码或执行一组用于由处理器执行的指令的任何介质，或者使得计算机系统能够执行这里公开的任意一个或多个方法或操作的任何介质。

[0086] 这里所述的方法和系统可以以其它形式来实施，而并不脱离本发明的精神或特征。所述的实施方式将在所有方面都只认为是示例性，而不是限制。在本发明的等效意义和范围内的所有变化都将包含在本发明的范围内。

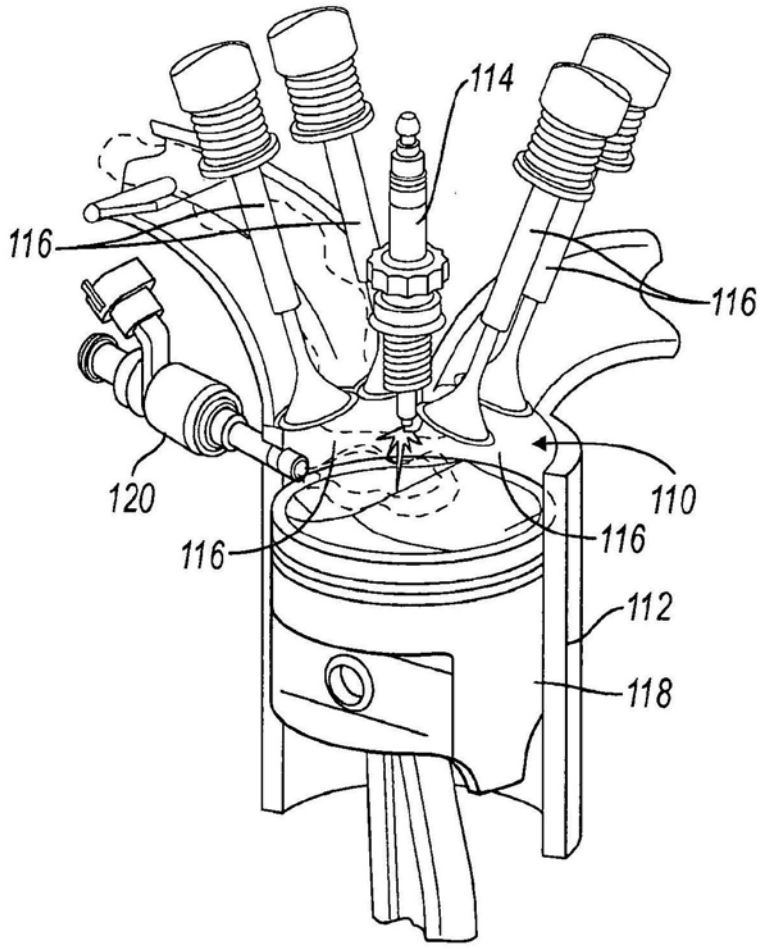

114
116
116
120
110
116
116
112
118

图1

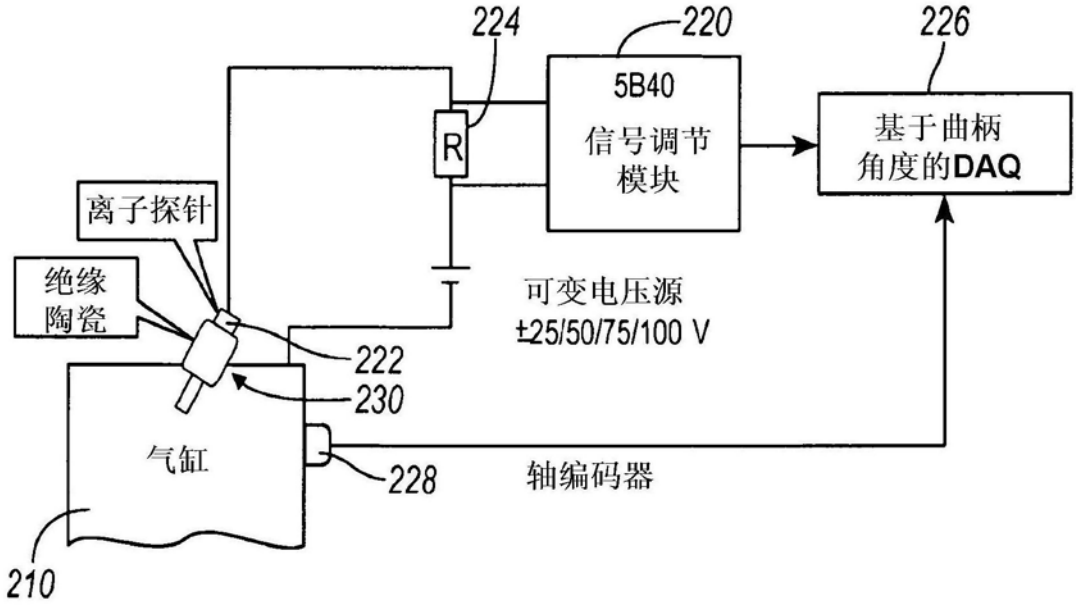

224
220
226
5B40
信号调节
模块
R
基于曲柄
角度的DAQ
离子探针
绝缘
陶瓷
可变电压源
±25/50/75/100 V
222
230
气缸
228
轴编码器
210

图2

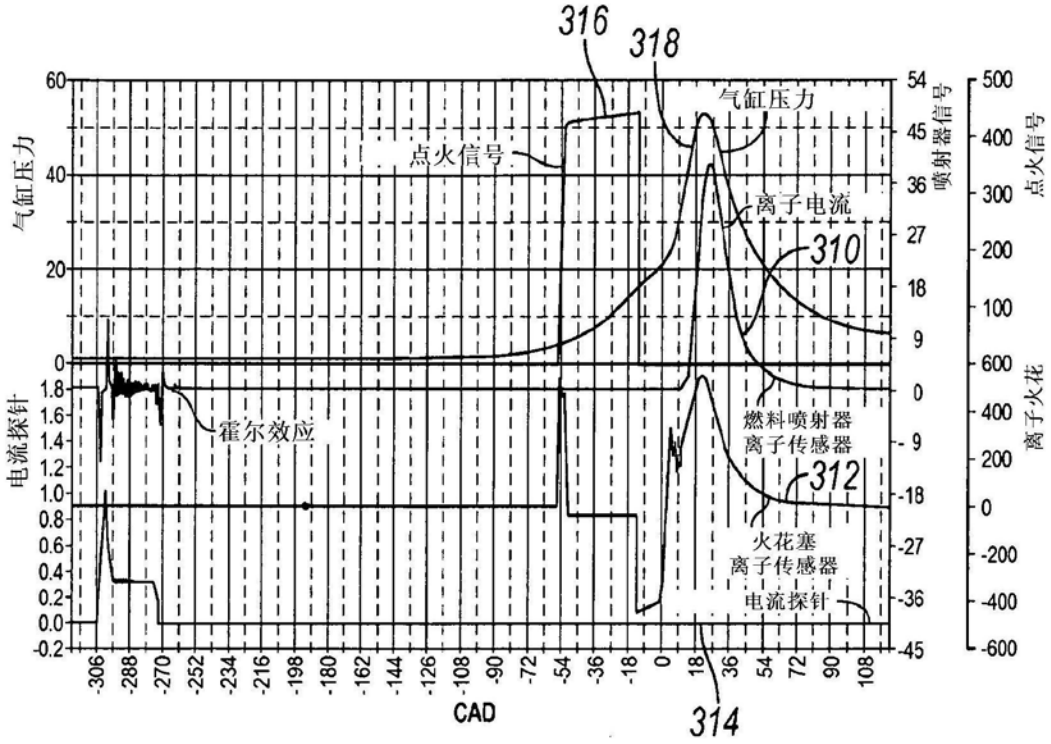

316
318
气缸压力
点火信号
离子电流
310
燃料喷射器
离子传感器
312
火花塞
离子传感器
电流探针
霍尔效应
314
气缸压力
电流探针
喷射器信号
点火信号
离子火花
CAD

图3

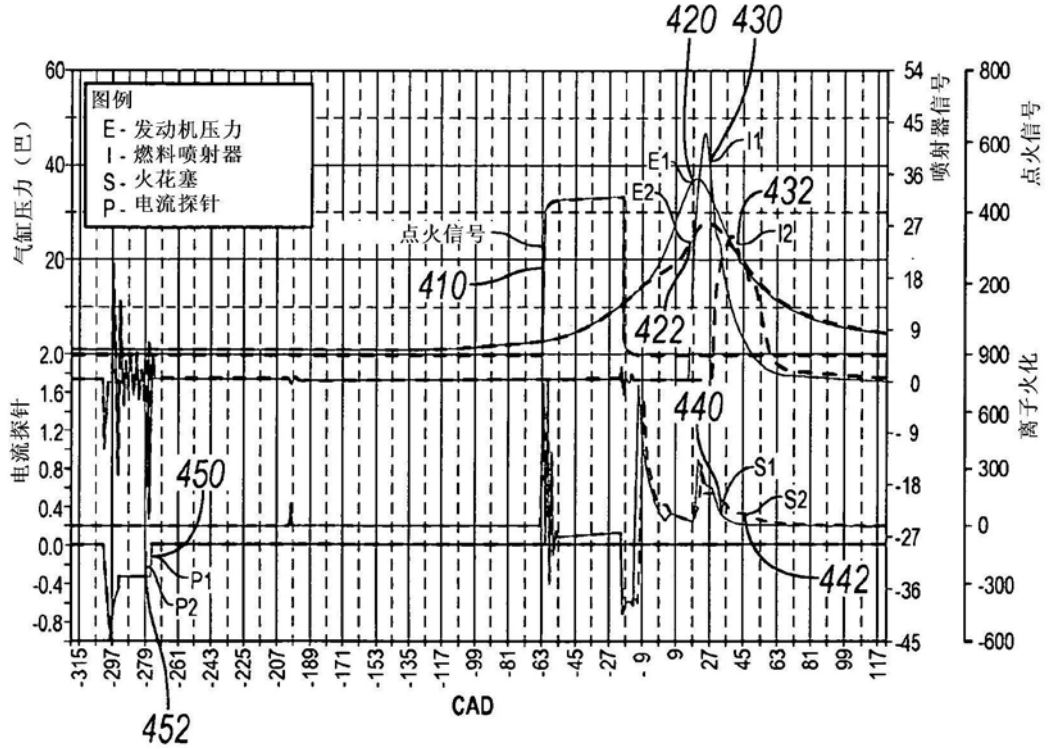

420
430
图例
E - 发动机压力
I - 燃料喷射器
S - 火花塞
P - 电流探针
E1
E2
I1
I2
432
点火信号
410
422
440
S1
S2
442
450
P1
P2
452
气缸压力（巴）
电流探针
喷射器信号
点火信号
离子火化
CAD

图4

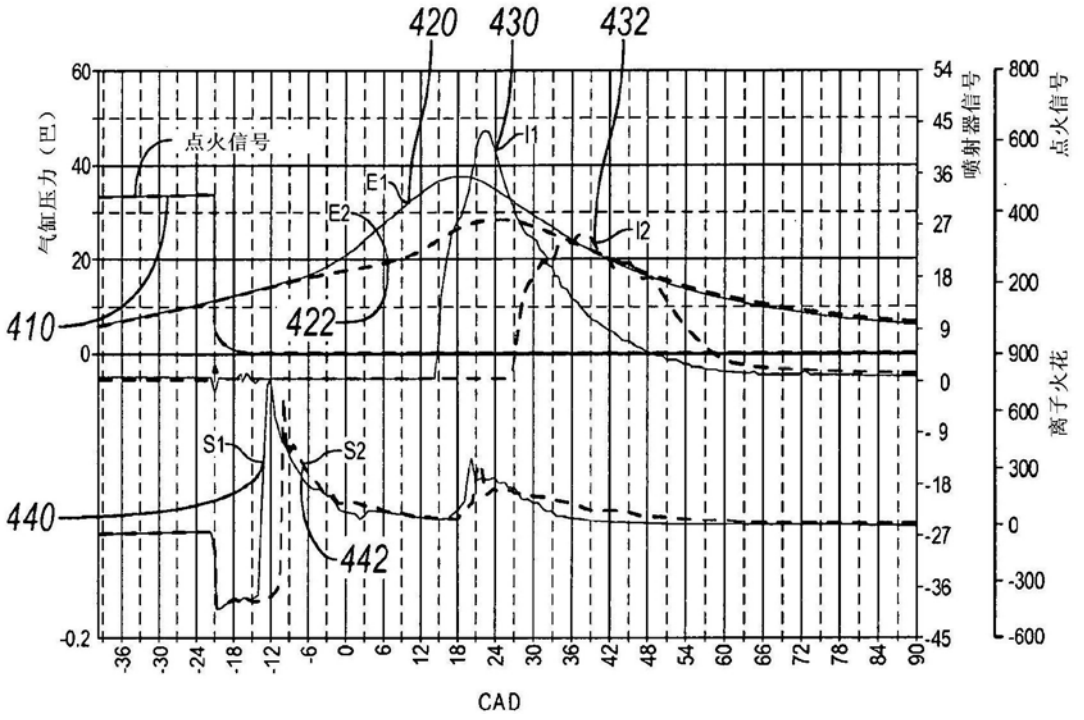

420
430
432
410
422
440
442
S1
S2
E1
E2
I1
I2
点火信号
气缸压力（巴）
喷射器信号
点火信号
离子火花
CAD

图5

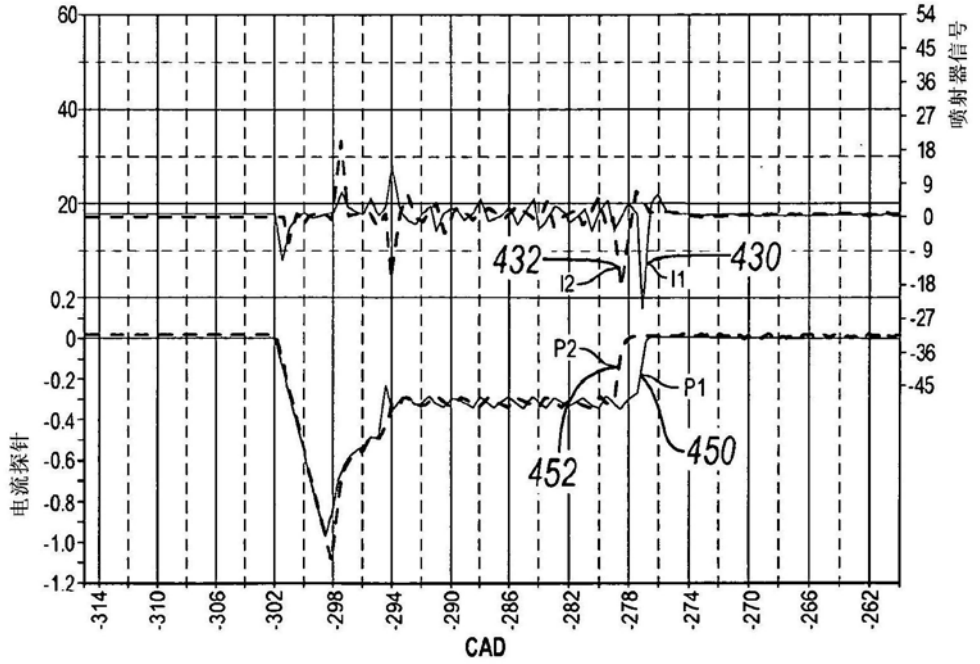

n
I2
I1
432
430
P2
P1
452
450
电流探针
喷射器信号
CAD

图6

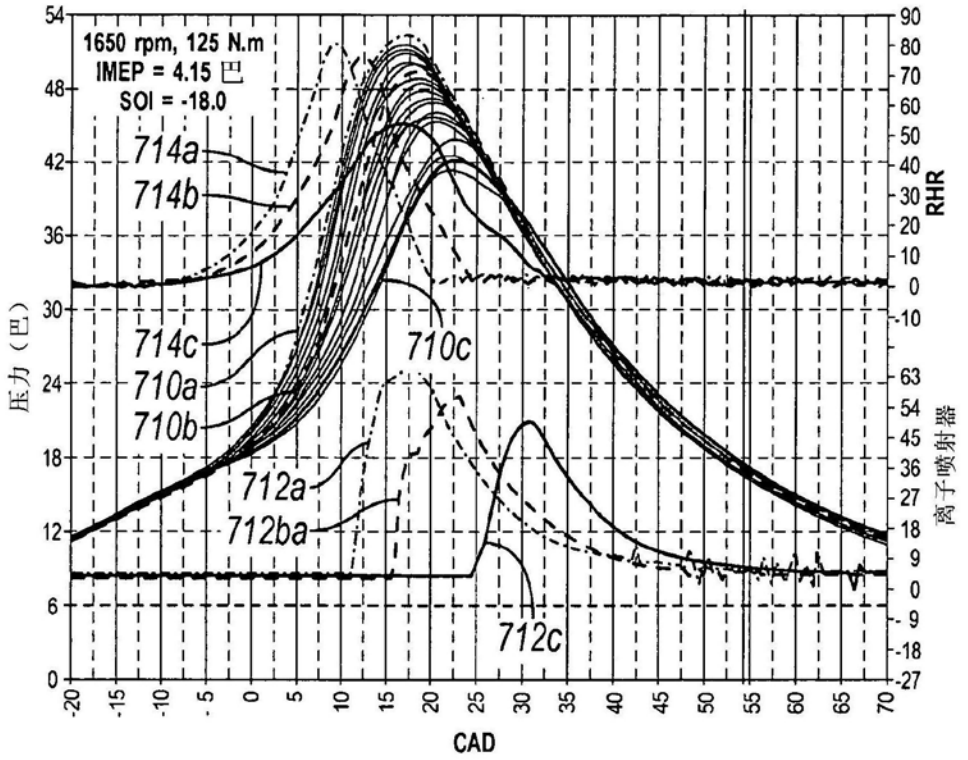

1650 rpm, 125 N.m
IMEP = 4.15 巴
SOI = -18.0
714a
714b
714c
710a
710b
710c
712a
712ba
712c
压力（巴）
RHR
离子喷射器
CAD

图7

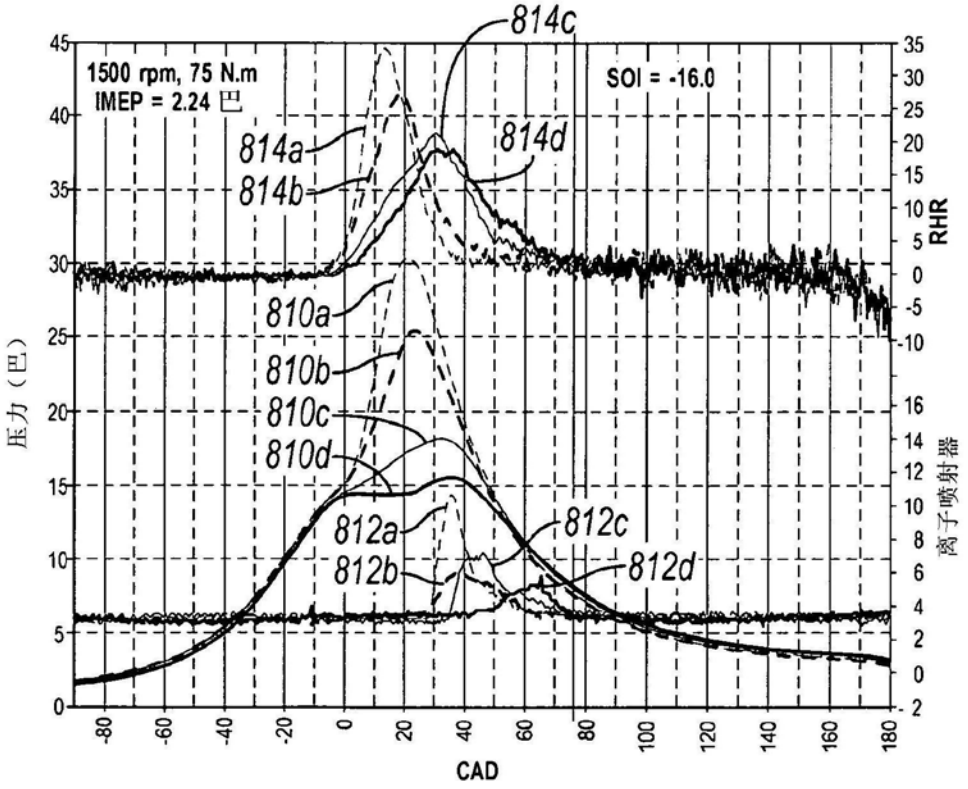

1500 rpm, 75 N.m
IMEP = 2.24 巴
SOI = -16.0
814a
814b
814c
814d
810a
810b
810c
810d
812a
812b
812c
812d
压力（巴）
RHR
离子喷射器
CAD

图8

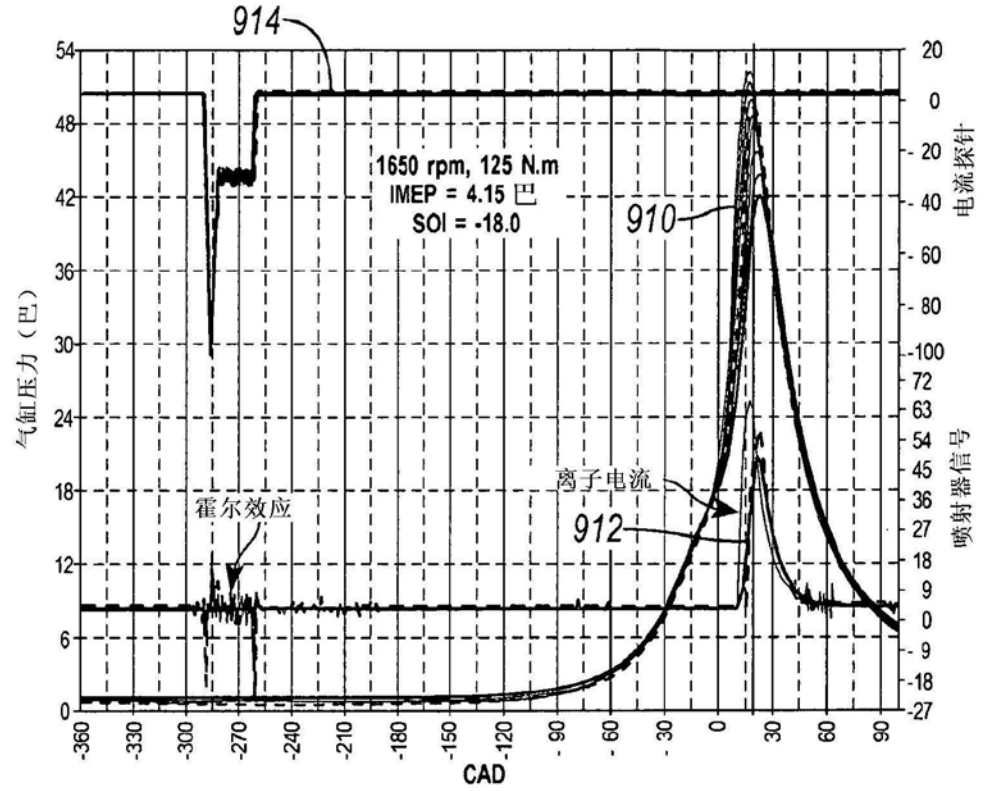

914
1650 rpm, 125 N.m
IMEP = 4.15 巴
SOI = -18.0
910
霍尔效应
离子电流
912
气缸压力（巴）
电流探针
喷射器信号
CAD

图9

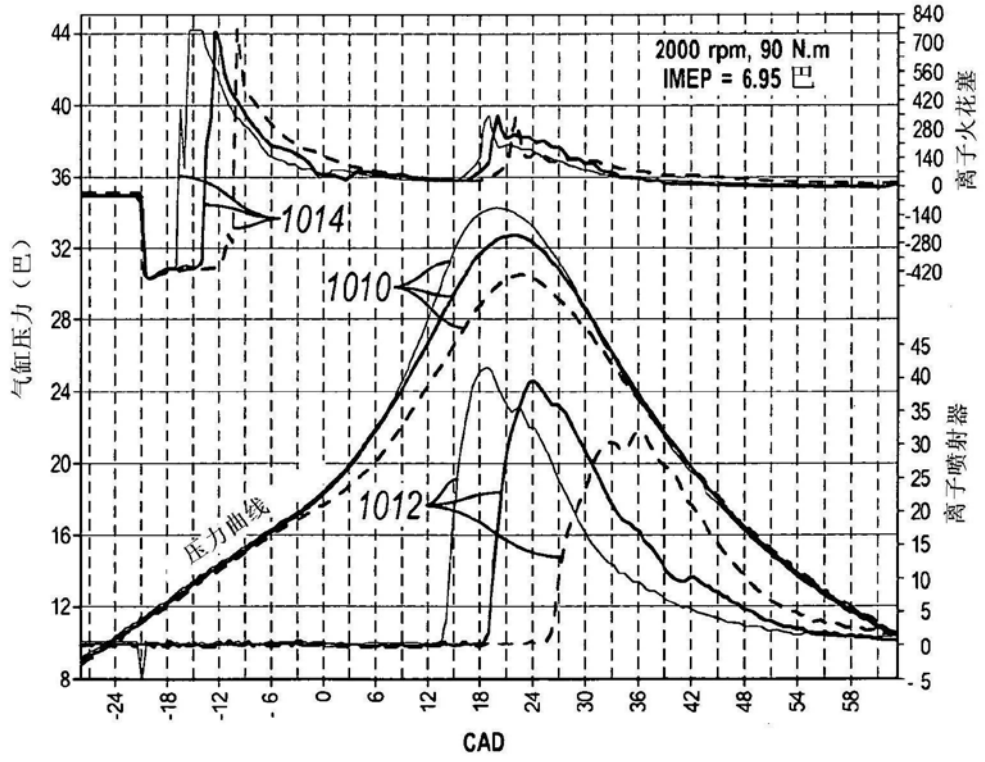

2000 rpm, 90 N.m
IMEP = 6.95 巴
1014
1010
1012
压力曲线
气缸压力（巴）
离子火花塞
离子喷射器
CAD

图10

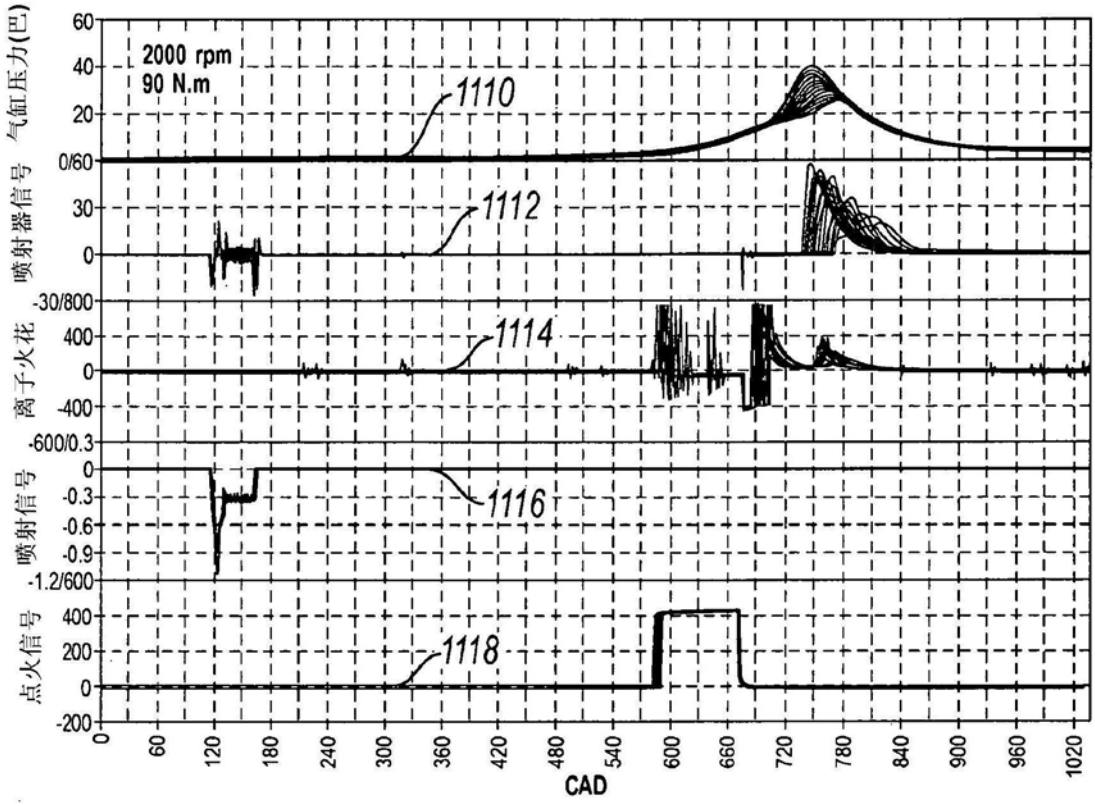

2000 rpm
90 N.m
1110
1112
1114
1116
1118
气缸压力(巴)
喷射器信号
离子火花
喷射信号
点火信号
60
40
20
0/60
30
0
-30/800
400
0
-400
-600/0.3
0
-0.3
-0.6
-0.9
-1.2/600
400
200
0
-200
0
60
120
180
240
300
360
420
480
540
600
660
720
780
840
900
960
1020
CAD

图11

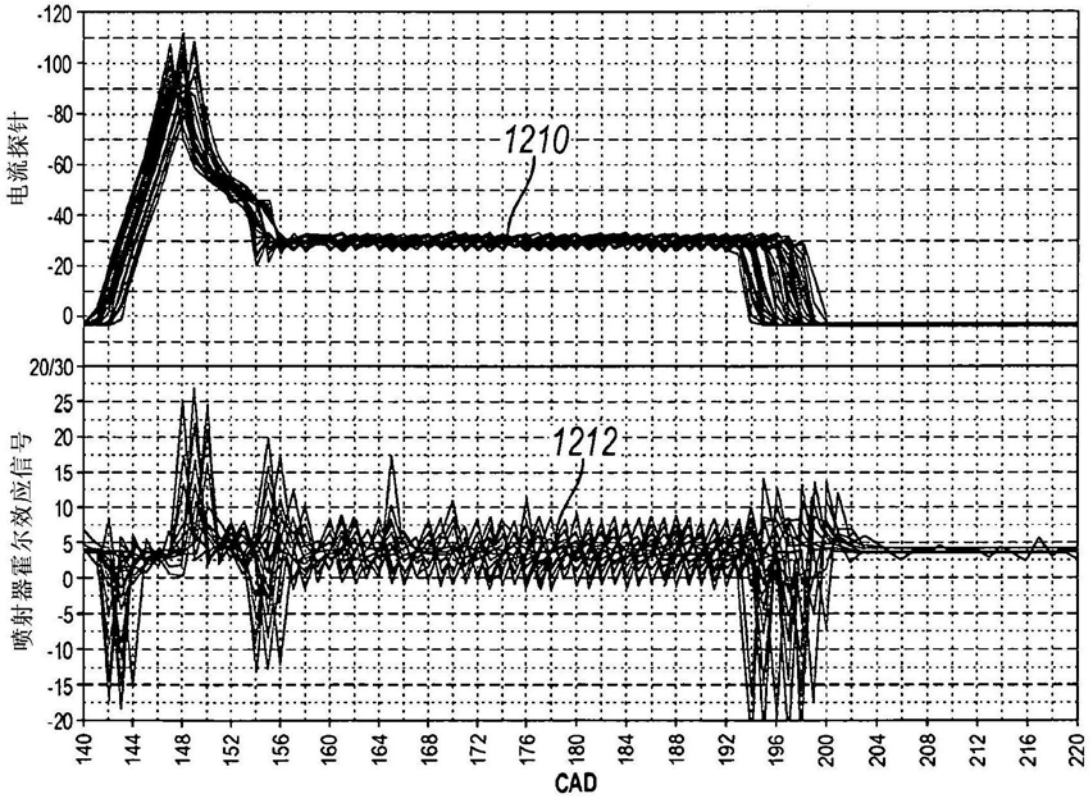


图12

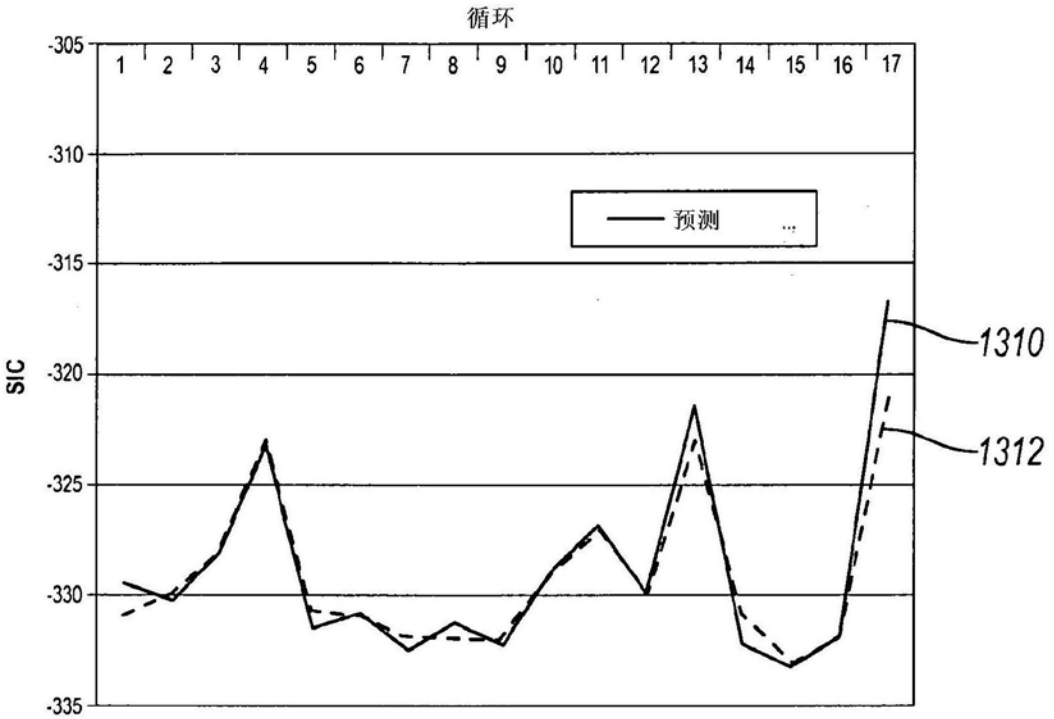


图13

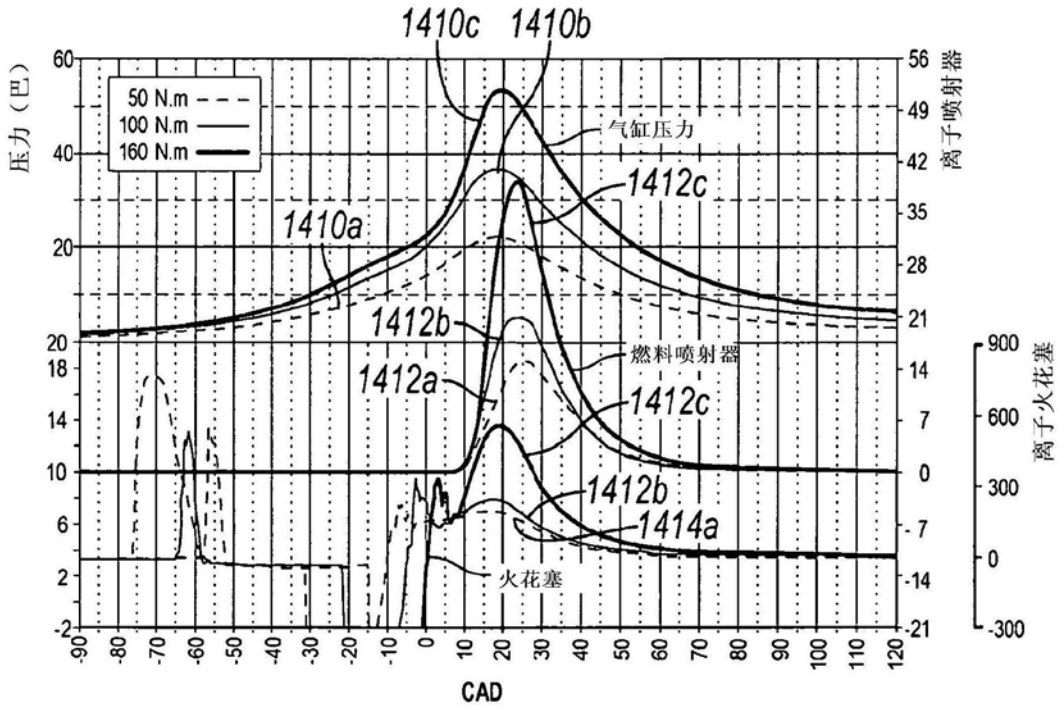

1410c
1410b
50 N.m
100 N.m
160 N.m
压力（巴）
离子喷射器
气缸压力
1412c
1410a
1412b
燃料喷射器
1412a
1412c
离子火花塞
1412b
1414a
火花塞
CAD

图14

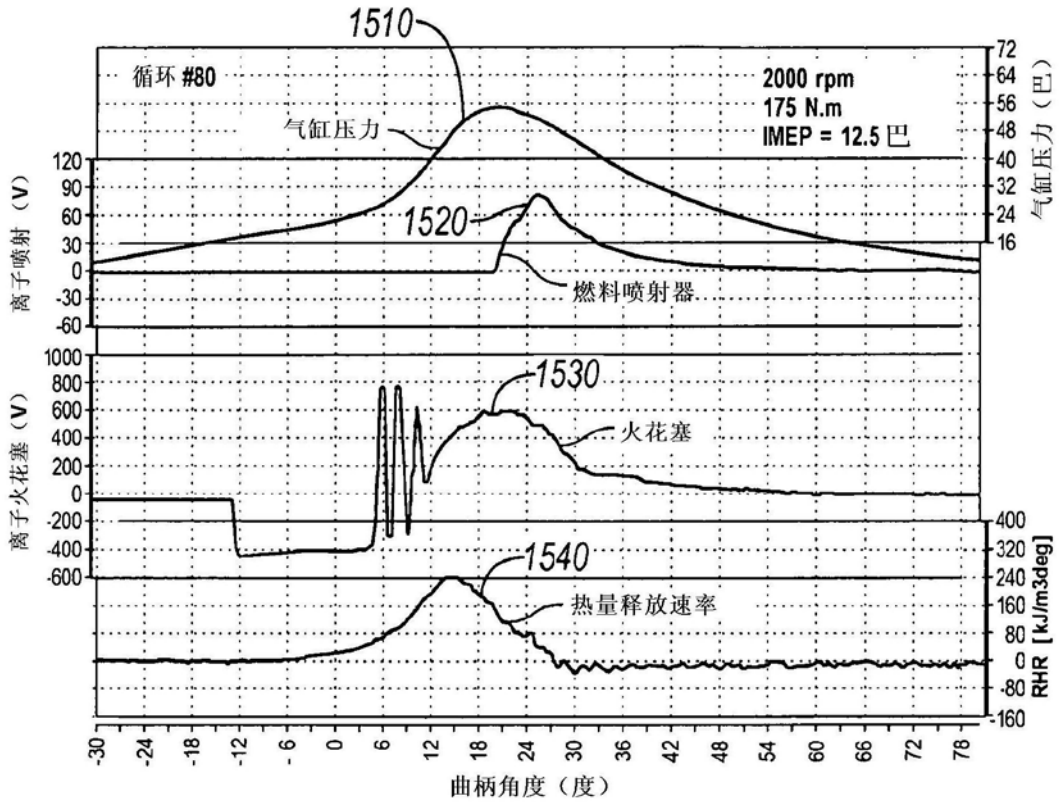

1510
循环 #80
2000 rpm
175 N.m
IMEP = 12.5 巴
气缸压力
气缸压力（巴）
离子喷射（V）
1520
燃料喷射器
1530
离子火花塞（V）
火花塞
1540
热量释放速率
RHR [kJ/m3deg]
曲柄角度（度）

图15

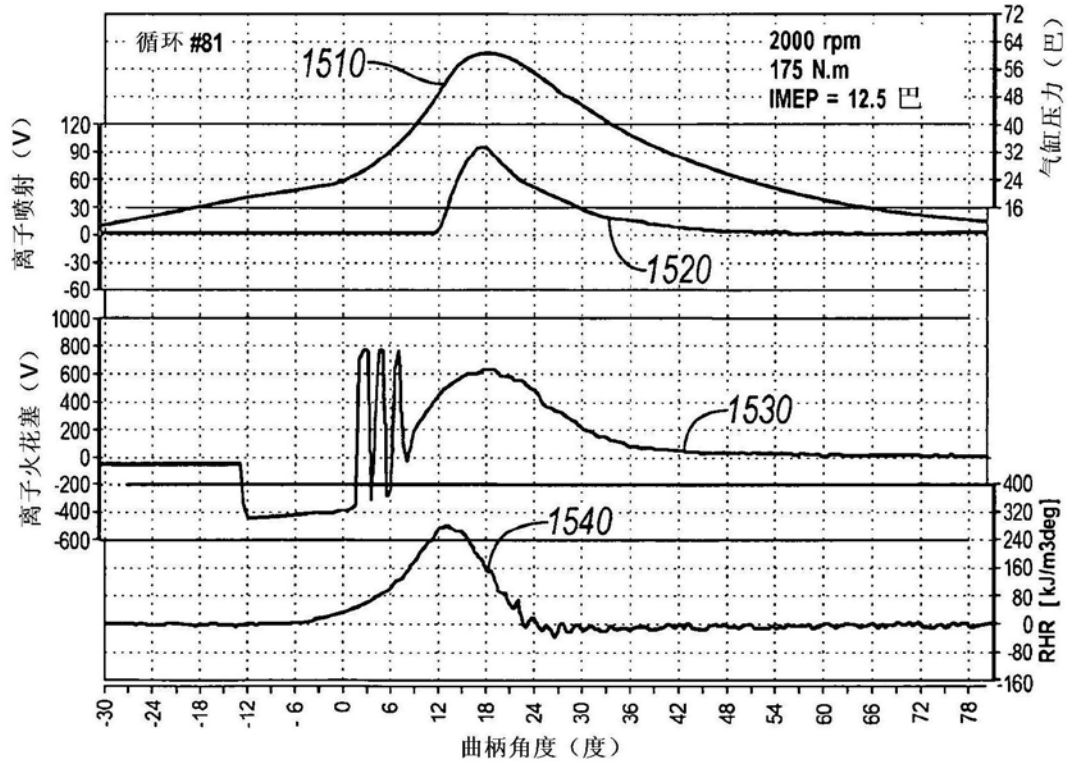

循环 #81
2000 rpm
175 N.m
IMEP = 12.5 巴
1510
1520
1530
1540
离子喷射（V）
离子火花塞（V）
气缸压力（巴）
RHR [kJ/m3deg]
曲柄角度（度）

图16

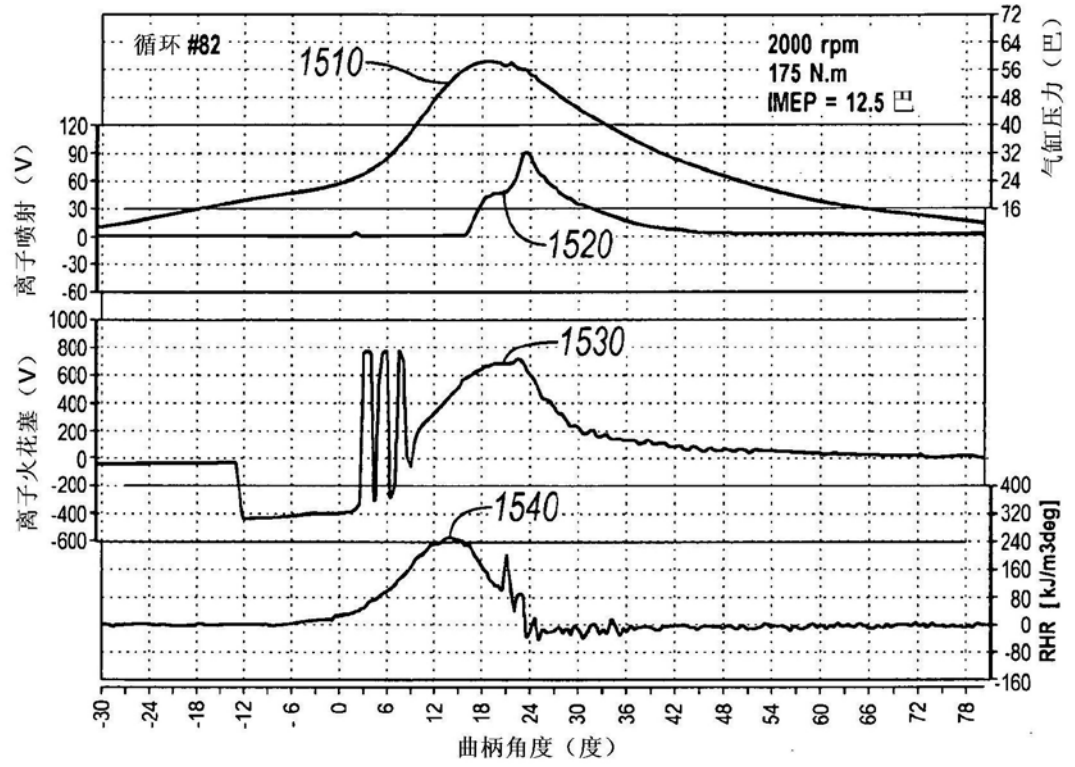

循环 #82
2000 rpm
175 N.m
IMEP = 12.5 巴
1510
1520
1530
1540
离子喷射（V）
离子火花塞（V）
气缸压力（巴）
RHR [kJ/m3deg]
曲柄角度（度）

图17

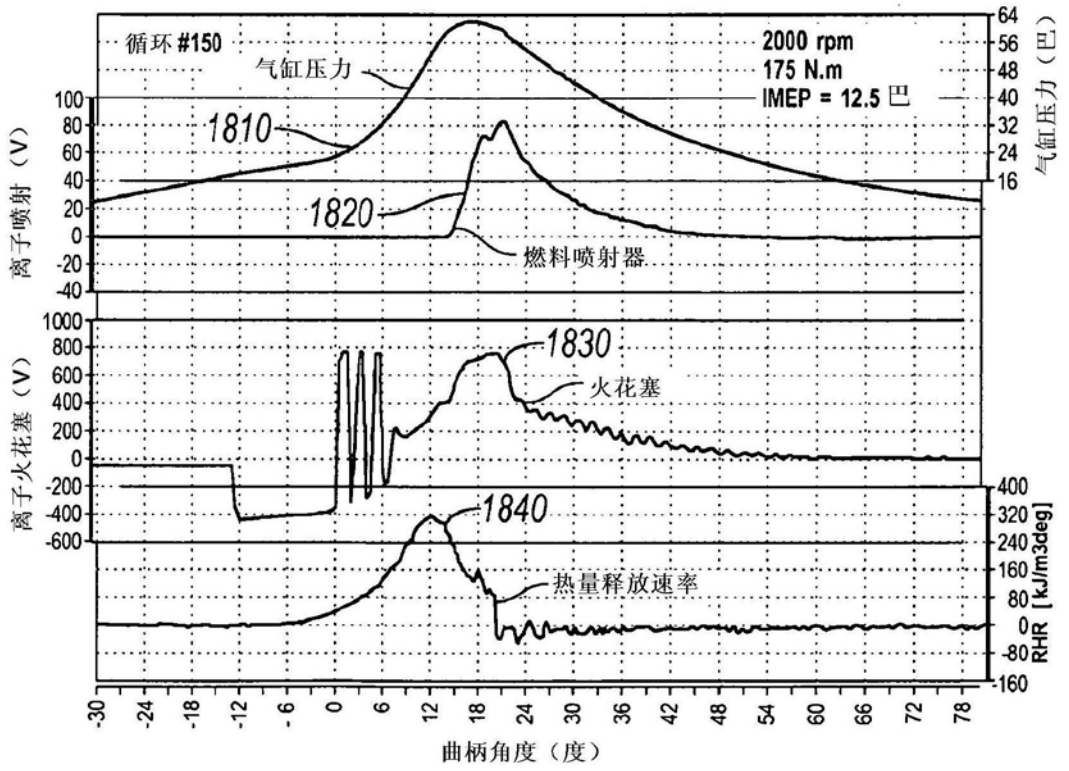

循环 #150
气缸压力
2000 rpm
175 N.m
IMEP = 12.5 巴
1810
1820
燃料喷射器
1830
火花塞
1840
热量释放速率
离子喷射（V）
离子火花塞（V）
气缸压力（巴）
RHR [kJ/m3deg]
曲柄角度（度）

图18

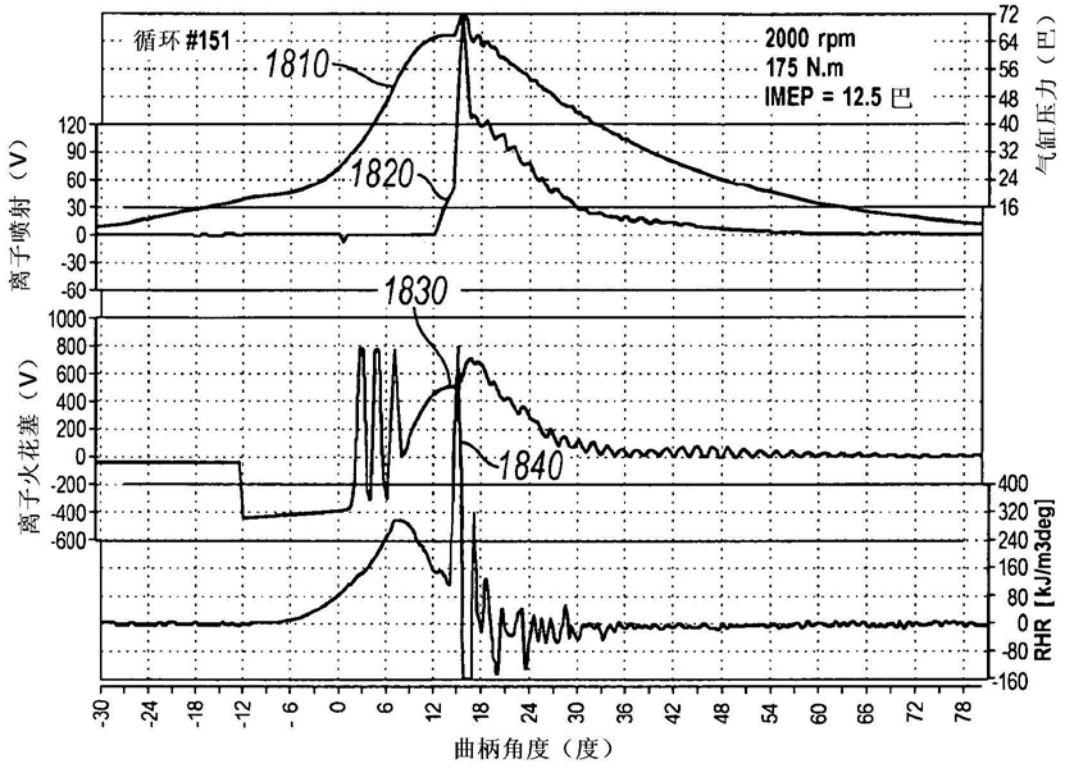

循环 #151
1810
1820
1830
1840
2000 rpm
175 N.m
IMEP = 12.5 巴
离子喷射（V）
离子火花塞（V）
气缸压力（巴）
RHR [kJ/m3deg]
曲柄角度（度）

图19

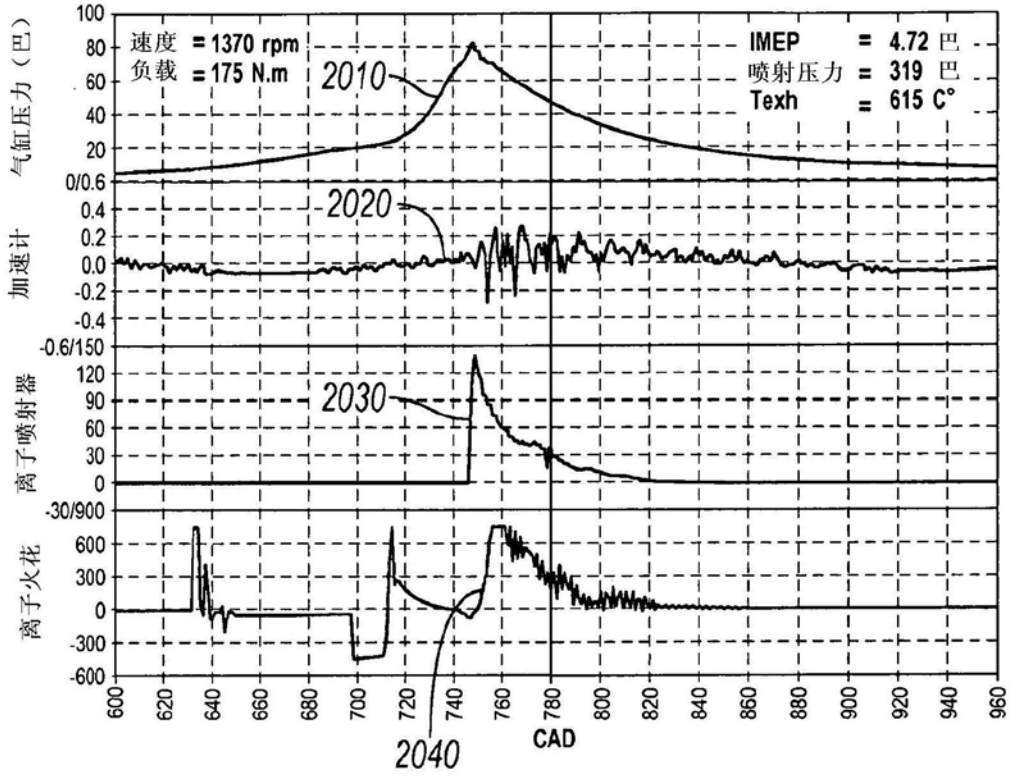

速度 = 1370 rpm
负载 = 175 N.m
IMEP = 4.72 巴
喷射压力 = 319 巴
Texh = 615 C°
2010
2020
2030
2040
气缸压力（巴）
加速计
离子喷射器
离子火花
CAD

图20

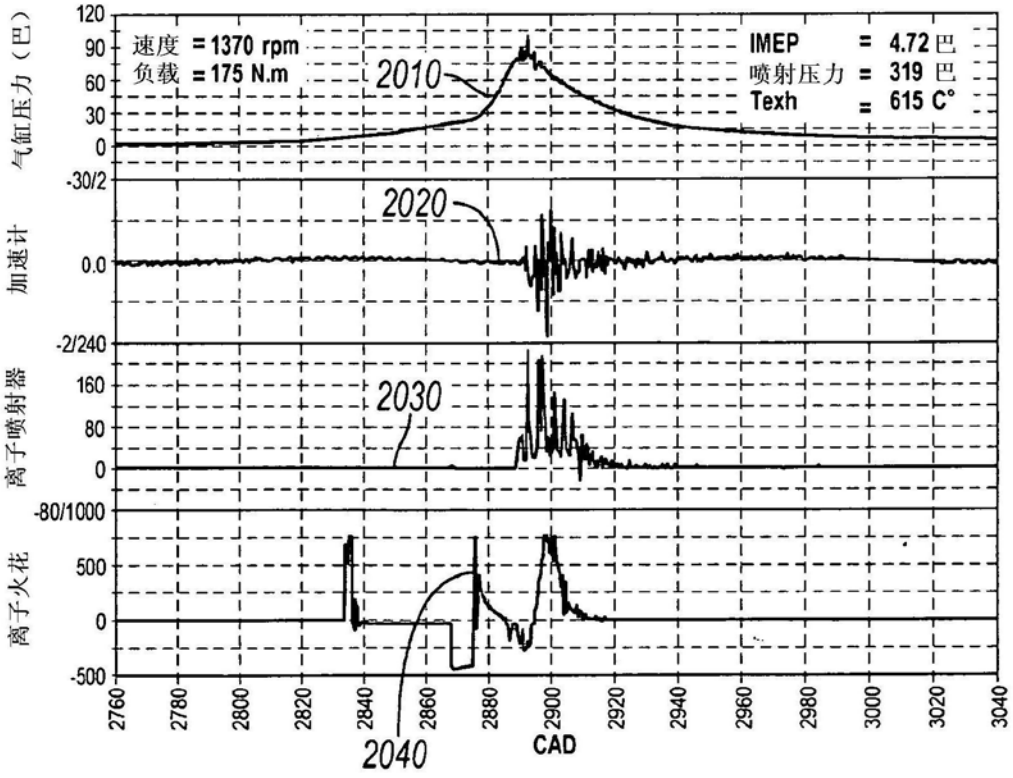

速度 = 1370 rpm
负载 = 175 N.m
IMEP = 4.72 巴
喷射压力 = 319 巴
Texh = 615 C°
2010
2020
2030
2040
气缸压力（巴）
加速计
离子喷射器
离子火花
CAD

图21