



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110869596 B

(45) 授权公告日 2023.06.13

(21) 申请号 201880045206.2
 (22) 申请日 2018.05.04
 (65) 同一申请的已公布的文献号
 申请公布号 CN 110869596 A
 (43) 申请公布日 2020.03.06
 (30) 优先权数据
 62/502,285 2017.05.05 US
 (85) PCT国际申请进入国家阶段日
 2020.01.06
 (86) PCT国际申请的申请数据
 PCT/US2018/031248 2018.05.04
 (87) PCT国际申请的公布数据
 W02018/204881 EN 2018.11.08
 (73) 专利权人 伍德沃德有限公司
 地址 美国科罗拉多州
 (72) 发明人 J·巴塔 G·J·汉普森 S·奈尔
 J·卡尔森
 (74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公
 司 31100
 专利代理师 江漪

(51) Int.Cl.
 F02D 35/02 (2006.01)
 F02B 77/08 (2006.01)
 F02D 19/06 (2006.01)
 F02D 19/08 (2006.01)
 F02D 19/10 (2006.01)
 F02D 41/00 (2006.01)
 G01L 23/22 (2006.01)
 F02D 41/30 (2006.01)
 F02D 41/22 (2006.01)

(56) 对比文件
 US 2015219027 A1, 2015.08.06
 CN 102735395 A, 2012.10.17
 CN 102235257 A, 2011.11.09
 CN 1877097 A, 2006.12.13
 EP 2020496 A2, 2009.02.04
 US 2012016567 A1, 2012.01.19
 US 2015068506 A1, 2015.03.12
 US 2013024089 A1, 2013.01.24
 US 2011010074 A1, 2011.01.13

审查员 孙丽芝

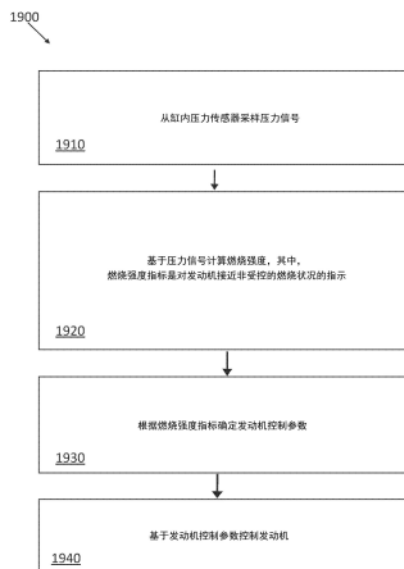
权利要求书2页 说明书15页 附图20页

(54) 发明名称

双燃料燃烧强度

(57) 摘要

一种检测内燃发动机中非受控的燃烧的方法,包括:对缸内压力传感器进行采样,该传感器被配置为测量发动机气缸中的压力并生成压力信号;基于该压力信号计算燃烧强度指标;确定参数,该参数基于燃烧强度指标描述发动机接近非受控的燃烧状况的程度;以及基于参数和燃烧强度指标的一个或多个来控制第一燃料和第二燃料的置换率。



1. 一种检测内燃机中的非受控的燃烧的方法,所述方法包括:
采样来自缸内压力传感器的压力信号,所述压力信号代表发动机的气缸中测得的压力;
基于压力信号计算燃烧强度指标,其中,所述燃烧强度指标是对所述发动机接近非受控的燃烧状态的指示,其中,所述燃烧强度指标至少是峰值气缸压力、气缸压力升高速率、气缸压力脉动、燃烧持续时间和放热斜率的函数,其中,计算所述燃烧强度指标包括:确定所述放热斜率的拐点,所述拐点指示缸内燃烧加速;
根据所述燃烧强度指标确定发动机控制参数;以及
基于所述发动机控制参数控制所述发动机。
2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述内燃机包括双燃料内燃机,并且其中,所述发动机控制参数包括基于所述燃烧强度指标的第一燃料和第二燃料的置换率。
3. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,所述第一燃料是柴油,且其中,所述第二燃料是天然气。
4. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述燃烧强度指标是在与所述缸内压力传感器的采样相同的燃烧周期内计算的。
5. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,包括:
基于所述压力信号,计算压力指标、放热指标和爆震指标;
其中,所述燃烧强度指标是所述压力指标、所述放热指标和所述爆震指标的函数。
6. 根据权利要求5所述的方法,其特征在于,所述放热指标包括所述发动机的气缸中的燃烧的绝热放热速率。
7. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述燃烧强度指标还是以下各项中至少一项的函数:
峰值气缸压力的曲柄角;
气缸压力脉动的曲柄角;
放热形心的曲柄角;或
最大放热速率的曲柄角。
8. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,包括:基于所述燃烧强度指标或所述发动机控制参数中的至少一个来确定所述发动机的燃料输入信号、节气门位置信号和点火正时信号。
9. 一种用于控制发动机系统的双燃料内燃机的运行的控制器,所述发动机系统包括压力传感器和曲柄角传感器,所述压力传感器被配置为测量发动机的气缸中的压力并产生对应的压力信号,所述曲柄角传感器被配置为测量所述发动机的曲柄角并产生对应的曲柄角信号,所述控制器包括:
处理器,所述处理器能与所述压力传感器和所述曲柄角传感器联接;以及
至少一个非暂时性计算机可读介质,其存储指令,所述指令可操作成使所述控制器的所述处理器执行各种操作,这些操作包括:
 - (a) 采样所述压力信号;
 - (b) 基于所述压力信号计算燃烧强度指标,其中,所述燃烧强度指标是对所述发动机接近非受控的燃烧状态的指示,且所述燃烧强度指标至少是峰值气缸压力、气缸压力升高速

率、气缸压力脉动、燃烧持续时间和放热斜率的函数,其中,计算所述燃烧强度指标包括:确定所述放热斜率的拐点,所述拐点指示缸内燃烧加速;

(c) 基于所述燃烧强度指标来确定输送到所述气缸的第一燃料和第二燃料的置换率;以及

(d) 基于所述置换率控制所述双燃料内燃机。

10. 根据权利要求9所述的控制器,其特征在于,所述第一燃料是柴油,且其中,所述第二燃料是天然气。

11. 根据权利要求9所述的控制器,其特征在于,步骤(b)和(c)在所述气缸的下一个周期内发生。

12. 根据权利要求9所述的控制器,其特征在于,所述指令包括基于所述压力信号计算压力指标、放热指标和爆震指标,且其中,所述燃烧强度指标是所述压力指标、所述放热指标和所述爆震指标的函数。

13. 根据权利要求12所述的控制器,其特征在于,计算放热指标包括:计算所述发动机的所述气缸中的燃烧的绝热放热速率。

14. 根据权利要求9所述的控制器,其特征在于,所述燃烧强度指标还是以下各项中至少一项的函数:

峰值气缸压力的曲柄角;

压力脉动的曲柄角;

放热形心的曲柄角;或

最大放热速率的曲柄角。

15. 如权利要求9所述的控制器,其特征在于,所述指令包括:

基于所述燃烧强度指标或所述置换率中的至少一个确定以下各项中的至少一项:所述双燃料内燃机的燃料输入信号、节气门位置信号、或点火正时信号,以及

使用以下各项中的至少一项来控制所述双燃料内燃机:所述燃料输入信号、所述节气门位置信号、或所述点火正时信号。

16. 一种用于控制发动机系统的内燃机的运行的控制器,所述发动机系统包括压力传感器和曲柄角传感器,所述压力传感器被配置为测量发动机的气缸中的压力并产生对应的压力信号,所述曲柄角传感器被配置为测量所述发动机的曲柄角并产生对应的曲柄角信号,所述控制器包括:

处理器,所述处理器能与所述压力传感器和所述曲柄角传感器联接;以及

至少一个非暂时性计算机可读介质,其存储指令,所述指令可操作成使所述控制器的所述处理器执行各种操作,这些操作包括:

(a) 采样所述压力信号;

(b) 基于所述压力信号计算燃烧强度指标,其中,所述燃烧强度指标是对所述发动机接近非受控的燃烧状态的指示,且所述燃烧强度指标至少是峰值气缸压力、气缸压力升高速率、气缸压力脉动、燃烧持续时间和放热斜率的函数,其中,计算所述燃烧强度指标包括:确定所述放热斜率的拐点,所述拐点指示缸内燃烧加速;

(c) 根据所述燃烧强度指标确定发动机控制参数;以及

(d) 基于所述发动机控制参数控制所述发动机。

双燃料燃烧强度

[0001] 优先权声明

[0002] 本申请要求2017年5月5日提交的美国专利申请第62/502,285号的优先权,该申请的全部内容通过参考纳入本文。

背景技术

[0003] 诸如发动机爆震之类的非受控的破坏性燃烧通常在高频压力振荡之后产生快速压力升高速率,在这种燃烧中,通常由于尾气的快速燃烧而在短时间内释放大量能量。这些强烈的压力波会在发动机结构部件上施加高应力,并显著提高热传递率,最终导致发动机破坏。这种非受控的燃烧可能是由于各种原因而发生的,比如不良的燃料质量和特性、燃料-空气混合物的不同质性、燃烧室中的热点、沉积物、蒸发润滑油、未燃烧的气缸充载气体中不利的压力-时间历史、气缸或充载的周期性变化、不充分的冷却等。异常燃烧的预测一般非常困难,并且通常在发动机设计期间解决。

发明内容

[0004] 本文中的构思涵盖了在发动机上包括至少一个缸内压力传感器,并且,与发动机的运行同时地且在某些情况下实时地计算出以下燃烧指标:峰值压力、压力升高速率、压力脉动、燃烧持续时间和放热变化速率。然后,通过方程/算法将这些指标进行数学组合,以确定发动机的运行与非受控的燃烧有多接近。这允许发动机在保持安全运行的同时达到更严酷的运行工况,比如在双燃料运行中混合物更浓或置换率更高。在一些情况下,发动机是2冲程或4冲程发动机,并且在一些情况下,实时是指在同一周期内(例如,在下次进气之前)、在下一个冲程完成之前、或同一冲程内计算燃烧指标。

[0005] 在一些实施方式中,本文中的构思的包括按周期收集和处理缸内压力信息的能力以及以下算法:

[0006] 峰值压力—一个事件期间的最大燃烧压力;

[0007] 压力升高速率—燃烧期间的最大压力升高速率;

[0008] 压力脉动—增量P的总和;

[0009] 燃烧持续时间—CA_{x1}与CA_{x2}之间的曲柄角度;

[0010] 放热变化—前半段燃烧过程与后半段燃烧过程相比的决定因素;

[0011] 本公开的一些方面包括使用上面列出的燃烧指标来确定燃烧强度数值,然后可以在控制回路中使用该燃烧强度数值以安全地驱动发动机至最大燃气置换率。在一些实施方式中,所有这些指标都是必需的,以便涵盖双燃料发动机上可以看到的许多不同情形。在一些情况下,放热变化被静态地确定或动态地确定,以便准确确定燃烧加速的拐点。

[0012] 在本公开的特定方面中,不再从传统的基于时间的频域来考虑非受控的燃烧(爆燃),而是从基于实际发动机极限的低速直接缸内压力信息进行考虑。

[0013] 本公开的一个示例是检测内燃机中的非受控的燃烧的方法。该方法包括:对缸内压力传感器进行采样,该缸内压力传感器被配置为测量发动机的气缸中的压力并生成对应

的压力信号;基于对应的压力信号来计算燃烧强度指标;以及基于燃烧强度指标确定描述发动机与非受控的燃烧状况的接近程度的参数。

[0014] 另一个示例是双燃料内燃机,其包括配置为测量发动机气缸中的压力并产生对应压力信号的缸内压力传感器,配置为测量曲柄角并产生对应的曲柄角信号的曲柄角传感器,以及可与压力传感器和曲柄角传感器联接的发动机控制单元。发动机控制单元被配置为:采样压力信号,基于对应的压力信号计算燃烧强度指标,确定描述发动机接近非受控的燃烧状况的程度的参数;以及基于参数和燃烧强度指标中的一个或多个来控制输送到所述气缸的第一燃料和第二燃料的置换率。

[0015] 另一示例是检测内燃机中的非受控的燃烧的方法。该方法包括:对来自缸内压力传感器的压力信号进行采样,该压力信号代表发动机的气缸中所测得的压力;基于该压力信号计算燃烧强度指标,其中,燃烧强度指标是发动机接近非受控的燃烧状态的指示;根据燃烧强度指标确定发动机控制参数;以及基于发动机控制参数控制发动机。

[0016] 在一些情况下,内燃机包括双燃料内燃机,并且发动机控制参数包括基于参数或燃烧强度指标中的至少一个的第一燃料和第二燃料的置换率。

[0017] 在一些情况下,第一燃料是柴油,且其中,第二燃料是天然气。

[0018] 在一些情况下,燃烧强度指标是在与缸内压力传感器的采样相同的燃烧周期内计算的。

[0019] 在一些情况下,该方法包括基于压力信号计算压力指标、放热指标和爆震指标,其中,燃烧强度指标是压力指标、放热指标和爆震指标的函数。在一些情况下,放热指标包括发动机气缸中的燃烧的绝热放热速率。

[0020] 在一些情况下,该方法包括基于压力信号计算以下燃烧指标中的至少一个:峰值气缸压力、峰值气缸压力的曲柄角、气缸压力升高速率、气缸压力脉动、气缸压力脉动的曲柄角、燃烧持续时间、放热斜率、放热形心的曲柄角或最大放热速率的曲柄角。

[0021] 在一些情况下,燃烧强度指标是以下各项中至少一项的函数:峰值气缸压力、峰值气缸压力的曲柄角、气缸压力升高速率、气缸压力脉动、气缸脉动的曲柄角、燃烧持续时间、放热斜率、放热形心的曲柄角或最大放热速率的曲柄角。

[0022] 在一些情况下,燃烧强度指标至少是峰值压力、压力升高速率、压力脉动、燃烧持续时间和放热斜率的函数。

[0023] 在一些情况下,该方法包括:基于燃烧强度指标或参数中的至少一个来确定发动机的燃料输入信号、节气门位置信号和点火正时信号。

[0024] 又一个示例是控制器,其控制发动机系统的双燃料内燃机的运行,其中,发动机系统包括压力传感器和曲柄角传感器,该压力传感器被配置为测量发动机的气缸中的压力并产生对应的压力信号,该曲柄角传感器被配置为测量发动机的曲柄角并产生对应的曲柄角信号。控制器包括可与内压力传感器和曲柄角传感器联接的处理器,以及存储指令的至少一个非暂时性计算机可读介质,这些指令可操作成使控制器的处理器执行操作。其中,各种操作包括:(a)对压力信号进行采样;(b)基于压力信号计算燃烧强度指标,其中,燃烧强度指标是对发动机接近非受控的燃烧状态的指示;(c)基于燃烧强度指标确定输送到气缸的第一燃料和第二燃料的置换率;以及(d)基于置换率控制双燃料内燃机。

[0025] 在一些情况下,第一燃料是柴油,且其中,第二燃料是天然气。

- [0026] 在一些情况下,步骤(b)和(c)在气缸的下一个周期内发生。
- [0027] 在一些情况下,指令包括基于压力信号计算压力指标、放热指标和爆震指标,且其中,燃烧强度指标是压力指标、放热指标和爆震指标的函数。
- [0028] 在一些情况下,计算放热指标包括计算发动机气缸中的燃烧的绝热放热速率。
- [0029] 在一些情况下,指令包括基于压力信号计算以下燃烧指标中的至少一个:峰值气缸压力、峰值气缸压力的曲柄角、气缸压力升高速率、气缸压力脉动、气缸压力脉动的曲柄角、燃烧持续时间、放热斜率、放热形心的曲柄角或最大放热速率的曲柄角。
- [0030] 在一些情况下是:峰值气缸压力、峰值气缸压力的曲柄角、气缸压力升高速率、气缸压力脉动、气缸脉动的曲柄角、燃烧持续时间、放热斜率、放热形心的曲柄角或最大放热速率的曲柄角。
- [0031] 在一些情况下,燃烧强度指标至少是峰值压力、压力升高速率、压力脉动、燃烧持续时间和放热斜率的函数。
- [0032] 在一些情况下,指令包括基于燃烧强度指标或参数中的至少一个确定以下各项中的至少一项:双燃料内燃机的燃料输入信号、节气门位置信号、或点火正时信号,以及使用以下各项中的至少一项来控制双燃料内燃机:燃料输入信号、节气门位置信号、或点火正时信号。
- [0033] 又一个示例是控制器,其用于控制发动机系统的内燃机的运行,其中,发动机系统包括压力传感器和曲柄角传感器,该压力传感器被配置为测量发动机的气缸中的压力并产生对应的压力信号,该曲柄角传感器被配置为测量发动机的曲柄角并产生对应的曲柄角信号。控制器包括可与内压力传感器和曲柄角传感器联接的处理器,以及存储指令的至少一个非暂时性计算机可读介质,这些指令可操作成使控制器的处理器执行操作。各种操作包括:(a)对压力信号进行采样;(b)基于压力信号计算燃烧强度指标,其中,燃烧强度指标是对发动机接近非受控的燃烧状态的指示;(c)根据燃烧强度指标确定发动机控制参数;以及(d)基于发动机控制参数控制发动机。
- [0034] 本公开的一些方面具有以下优点:降低损坏高置换率双燃料发动机的风险。由于燃烧强度指标使用已知的机械发动机极限值,因此大大减少了检测非受控的燃烧的校准工作。特定方面还允许发动机始终以最大置换率控制运行,而不必增加安全裕度,这为双燃料发动机操作员提供了更好的价值定位。

附图说明

- [0035] 图1A是包括发动机控制系统的内燃机的气缸的横截面示意图。
- [0036] 图1B是发动机控制系统的示意图。
- [0037] 图1C是具有处理器和存储器的示例性发动机控制系统的框图。
- [0038] 图2是随着燃气置换的变化被处理的加速度计检测效果的曲线图。
- [0039] 图3是在0%、60%和90%燃气置换率下的缸内压力和振动轨迹的图。
- [0040] 图4是振动和压力爆震强度与燃气置换比率的图。
- [0041] 图5A是各种速度下压力爆震强度与燃气置换的2维等值线图。
- [0042] 图5B是各种速度下振动爆震强度与燃气置换的2维等值线图。
- [0043] 图6是示出燃烧强度指标效果与作为对非受控燃烧的近似测量以及作为燃气置换

的函数的经典爆震强度指标关系的曲线图。

[0044] 图7是在0%、60%和90%燃气置换率下的平滑放热轨迹图。

[0045] 图8是各种速度下燃烧强度与燃气置换的2维等值线图。

[0046] 图9是10%、50%和90%的总放热的角位置与燃气置换的关系图。

[0047] 图10是在0%、60%和90%燃气置换率下的缸内压力与曲柄角的关系图。

[0048] 图11是在0%、60%和90%燃气置换率下的平滑放热轨迹与曲柄角的关系图。

[0049] 图12是燃烧强度和爆震强度指标与燃气置换率(GSR)的关系图。

[0050] 图13是在80%GSR下在0%、10%和15%丙烷气体置换率(PSR)下的缸内压力轨迹的图。

[0051] 图14是在80%GSR下在0%、10%和15%丙烷气体置换率(PSR)下的平滑放热轨迹的图。

[0052] 图15是在90%GSR下燃烧强度和爆震强度指标与丙烷气体置换率(PSR)的关系图。

[0053] 图16是燃烧强度和爆震强度指标与歧管空气温度(MAT)的关系图。

[0054] 图17A是GSR和PSR与时间的关系图。

[0055] 图17B是在图17A期间燃烧强度与时间的关系图,示出了带有丙烷添加的正弦波GSR命令对CI指标响应的效果。

[0056] 图18A是歧管空气温度(MAT)与时间的关系图。

[0057] 图18B是图18A的时间与燃烧强度的关系图,示出了MAT对燃烧强度指标响应的效果。

[0058] 图19是本公开的示例性方面的流程图。

具体实施方式

[0059] 公开了一种检测非受控燃烧的新手段、即燃烧强度(CI),该手段监测压力和放热指标的数学组合,可以精确地预测非受控燃烧的开始。来自火花点火和双燃料发动机的数据显示了传统爆震类型、基于振动频率的手段的缺点,这种手段在恶劣条件下效果最佳,恶劣条件是指极度突变的终端燃气的燃烧速率后随有高频振荡。特别是在柴油燃烧脉动使信号模糊的双燃料燃烧中以及在频率成分降低到正常检测阈值以下的一些模式下,这项技术无法满足要求。相反,当燃气置换在所有运行点上增加时,即使燃气质量、歧管空气温度或其他发动机工况改变,本文中描述的CI指标的实施例也提供单调趋势。这提供了确定的控制动作路径,在一些情况下,控制动作路径可以设计为燃烧强度目标。对于不同的发动机配置,这些相所遇到的燃气置换率(GSR)和燃烧强度的猛烈性可能会有所不同,但是本文中公开的基本燃烧现象应该是普遍相关的。

[0060] 使燃气发动机达到稀/低NO_x和高BMEP限值,并使燃气-柴油双燃料发动机达到高置换率通常会导致限制性能的突然非受控燃烧,比如爆震。了解并检测异常燃烧的进展是保护发动机的关键。本公开的各方面包括使用火花点火发动机和双燃料发动机两者的缸内压力来检测非受控的燃烧的进展的能力。对于燃气发动机,基于压力的爆震检测可获取所有爆震周期,而基于振动的爆震检测可错过相当大比例的爆震周期。对于双燃料发动机,传统的基于频率的检测手段可以检测到严重的燃烧事件,但不能提供连续增加的良好信号。这使得发动机的控制和校准非常困难,因此通常为了保持安全裕度而驱动至较低的置换

率。这一行为是由于柴油燃烧过程所导致的,该过程在气缸中产生压力脉动。

[0061] 在历史上,术语“爆震”已被广泛地用来表示任何形式的“非受控燃烧”,其通常与由于火焰前沿外部的可燃燃气混合物的压缩和加热所导致的“自燃”现象相关联。受控燃烧将被表征为被燃烧的质量分数的规则进展,该被燃烧的质量分数将与传播的火焰相关联。当火焰前方的终端燃气由于火焰产生的压力和温度而自燃时,会发生传统爆震,但这并不是在火焰中发生的。当发生自燃时,它将在气缸上传送压力波,这些压力波被检测为高频压力振荡和潜在的振动噪声。

[0062] 非受控燃烧可通过放热速率的不连续突然增加来表征,并且该放热速率的突然增加将显示在压力轨迹形状中,但是它可能会或可能不会引起高频压力振荡。与非受控的燃烧的猛烈性会从初期到严重爆震逐渐加剧从而为控制动作提供了足够的时间的火花点火式发动机不同,双燃料发动机的“非受控燃烧”的开始可能是突然的且非单调的。当发生这种“非受控的燃烧”时,在缸内压力或基于振动的爆震传感器信号中不是总会观察到高频振荡,通常直到为时已晚才观察到。

[0063] 当置换率增加到超过某个点时,发现振动爆震信号减小。如果发动机依靠爆震来保护发动机免于燃气置换率过高、变化的燃气质量或其他影响,则需要鲁棒控制系统以及逐渐增加信号反馈,以使置换最大化,同时保持发动机安全运行。

[0064] 为了实现这一点,描述了一种检测非受控的燃烧的新手段,该新手段监测压力和放热指标的数学组合,该数学组合可以精确地预测非受控的燃烧的进展,从而提供确定的控制动作路径。借助这种手段,可以在柴油双燃料发动机上使置换率最大化并将其维持在期望的安全裕度。

[0065] 进行了测试以改变在各种速度和负载下的置换率,从而表明在柴油双燃料发动机中可以看到的不同燃烧模式。该数据用于确定一种检测双燃料发动机中非受控的燃烧的更好手段,从而提出了燃烧强度(CI)这一术语。本文中描述的燃烧强度指标提供了燃烧状态的连续增加的量度,以提供更好的可控制性,同时改善了对于非受控的燃烧的防护,这是因为它基于与燃烧循环同时进行的对缸内压力的直接监测。

[0066] 对于双燃料发动机,如上所述,传统的基于频率的检测手段可以检测到严重的燃烧事件,但不能提供与猛烈性对应的连续增加的良好信号。这使得发动机的控制和校准非常困难,通常为了保持安全裕度而驱动至较低的置换率。对于低燃气置换率,随着柴油自燃在气缸内产生压力脉动,柴油燃烧过程占主导地位。随着燃气被添加到新鲜充量中,柴油点燃燃烧的强度会增加,燃气会放大柴油引发的燃烧效果。然而,随着置换率增加到超过某个点时,随着燃烧的模式从“柴油式”转变为“预混燃气式”,并且基于频率的含量开始减少并伴有附加的燃气置换,振动爆震信号减小。如果发动机依靠基于振动的爆震传感器来保护发动机免于燃气置换率过高、变化的气体质量或其他影响,则需要鲁棒控制系统以及逐渐增加信号反馈,以使置换最大化,同时保持发动机安全运行。为了解决这个问题,需要一种新的手段来检测双燃料发动机中的非受控的燃烧。

[0067] 本文中描述的一个示例性方案是在发动机上包括至少一个缸内压力传感器,并且,与发动机的运行同时地且在一些情况下实时地计算出以下燃烧指标:峰值压力、峰值压力的位置、升压速率、压力脉动、脉动的位置、燃烧持续时间和放热斜率、放热速率的形心的位置、最大放热速率的位置。在一些情况下,这些指标随后被一起用于确定发动机运行到距

非受控的燃烧的接近程度。基于这一确定,可以在保持安全运行的同时允许使发动机达到更高的置换率。

[0068] 虽然要求最高的双燃料燃气/柴油燃烧型式在本文中是指将气态燃料添加到现有的柴油发动机中,但是储备压缩比、气门正时和活塞是不变的,该方法适用于包括微型先导件(micro-pilot)的所有双燃料燃气/柴油发动机。燃气通常由天然气、丙烷或沼气组成,其可以在单一位置处(其在该位置被熏蒸入进气系统处)被引入或在进气门附近通过端口被注入。在一些情况下,双燃料将会指将天然气连续添加到储备柴油发动机的燃烧室中。随着燃气置换率增加,柴油将通过以相等的能量比率减少柴油量来“控制”,以维持目标负荷。

[0069] 首先参考图1A,示出了可采用本公开的各方面的示例性发动机系统100。发动机系统100包括发动机控制单元102、空气/燃料模块104、点火模块106和发动机101(在此示出为往复式发动机)。图1A示出了例如内燃机100。为了本公开的目的,发动机系统100将被描述为由气态燃料提供能量的往复式活塞发动机。在一些情况下,发动机使用天然气燃料运转。发动机可以是任何其他类型的内燃机,其他类型既指燃料类型(气态、液态(例如,汽油、柴油和/或其他)、同相或混合相多燃料和/或其他配置)也指发动机的物理配置(往复式、Wankel旋转式和/或其他配置)。尽管分别示出了发动机控制单元102、空气/燃料模块104和点火模块106,但是模块102、104、106可以组合成单个模块,或者可以成为具有其他输入和输出的发动机控制器的一部分。

[0070] 往复式发动机101包括发动机气缸108、活塞110、进气门112和排气门114。发动机101包括发动机缸体,该发动机缸体包括一个或多个气缸108(图1A中仅示出一个)。发动机100包括由气缸108、活塞110和缸盖130形成的燃烧室160。火花塞120或直接燃料喷射器或预燃室定位在缸盖130内,这使得点火装置能够接近可燃混合物。一般地,术语“火花塞”可以指预燃室内的直接燃料喷射装置和/或火花塞或其他点火装置。在火花塞的情形中,火花塞120的火花隙122位于燃烧室160内。在一些情形中,火花隙122是两个或更多个电极其间具有小空间的布置。当将电流施加到电极之一时,产生电弧,该电弧桥接各电极之间的小空间(即,火花隙)。可以使用其他类型的点火器,包括激光点火器、热表面点火器和/或其他类型的点火器。每个气缸108内的活塞110在上止点(TDC)位置与下止点(BDC)位置之间运动。发动机100包括曲轴140,该曲轴140连接每个活塞110,使得活塞108在每个气缸108内的TDC与BDC位置之间运动并使曲轴140旋转。TDC位置是活塞110的使燃烧室160具有最小容积(即,活塞110最靠近火花塞120和燃烧室160的顶部)的位置,而BDC位置是活塞110的使燃烧室160具有最大容积(即,活塞110从火花塞120和燃烧室160的顶部缩回最远)的位置。

[0071] 气缸盖130限定了进气通道131和排气通道132。进气通道131将空气或空气和燃料混合物从进气歧管116引导到燃烧室160中。排气通道132将废气从燃烧室160引导到排气歧管118中。进气歧管116通过进气通道131和进气门112与气缸108连通。排气歧管118通过排气门114和排气通道132从气缸108接收废气。进气门112和排气门114通过用于每个气缸的气门致动组件来控制,控制可以包括以电子、机械、液压或气动方式控制或通过凸轮轴(未示出)控制。

[0072] 活塞110在每个气缸108内的TDC与BDC位置之间的运动定义了进气冲程、压缩冲程、燃烧或动力冲程以及排气冲程。进气冲程是在进气门112打开并且燃料/空气混合物经由进气通道131被吸入燃烧室160中的情况下活塞110远离火花塞120的运动。压缩冲程是在

空气/燃料混合物在燃烧室160中以及进气门112和排气门114两者都关闭的情况下活塞110朝向火花塞120的运动,从而使得活塞110的运动能够压缩燃烧室160中的燃料/空气混合物。燃烧或动力冲程是在燃烧冲程之后当火花塞120通过在火花隙122中产生电弧来点燃燃烧室中被压缩的燃料/空气混合物时发生的活塞110远离火花塞120的运动。被点燃的燃料/空气混合物燃烧并使燃烧室160中的压力快速升高,从而向活塞110的远离火花塞120的运动施加膨胀力。排气冲程是燃烧冲程之后活塞110朝向火花塞120的运动,此时排气门114打开以允许活塞110将燃烧气体经由排气通道118排到排气歧管118。

[0073] 发动机100包括燃料供给装置124,比如燃料喷射器、燃气混合器或其他燃料供给装置,以将燃料引导到进气歧管116中或直接引导到燃烧室160中。在一些情况下,发动机100是具有进入燃烧室160的两个燃料源的双燃料发动机。

[0074] 在一些情况下,发动机系统100可以包括不具有活塞/气缸的另一种类型的内燃发动机101,例如Wankel发动机(即,燃烧室中的转子)。在一些情况下,发动机101在每个燃烧室160中包括两个或更多个火花塞120。

[0075] 在发动机运行期间、即在燃烧室160中的燃烧事件期间,空气/燃料模块104在进入燃烧室160之前将燃料提供给进气歧管中的进入空气流。火花模块106通过调节产生电弧和火花隙122的正时来控制燃烧室160中的空气/燃料的点火,这在活塞110的每个接连的压缩和燃烧冲程之间的一系列点火事件期间引发燃烧室160内的燃料/空气混合物的燃烧。在每个点火事件期间,火花模块106控制点火正时并向火花塞120的初级点火线圈供能。空气/燃料模块104控制燃料喷射装置124并且可以控制节气门126以目标比率将空气和燃料输送到发动机气缸108。空气/燃料模块104从发动机控制模块102接收反馈,并调整空气/燃料比。火花模块106通过控制电联接至火花塞并从被供有来自电源的电流的点火线圈的操作来控制火花塞120。除了下面公开的本系统的各方面之外,ECU 102还基于发动机速度和负载来调节火花模块106的操作。

[0076] 在一些情况下,ECU 102包括火花模块106和燃料/空气模块104,作为由ECU 102的处理器执行的集成软件算法,并且因此响应于从可能位于发动机各处的一个或多个传感器(未示出)接收的输入而作为单个硬件模块操作发动机。在一些情况下,ECU 102包括与对燃料/空气模块104和火花模块106的所描述的操作相对应的独立的软件算法。在一些情况下,ECU 102包括有助于所描述的燃料/空气模块104和火花模块106的功能的实施或控制的单独的硬件模块。例如,ECU 102的火花模块106可以包括ASIC,以调节向火花塞120的点火线圈的电流输送。存在多个传感器系统,以监测发动机100的运行参数,其可以包括例如曲轴传感器、发动机速度传感器、发动机负荷传感器、进气歧管压力传感器、缸内压力传感器等。一般地,这些传感器响应于发动机的运行参数产生信号。例如,曲轴传感器171读取并生成指示曲轴140的角位置的信号。在示例性实施例中,高速压力传感器172在发动机100的运行期间测量缸内压力。传感器171、172可以直接连接到ECU 102以便于感测,或者在一些情况下与实时燃烧诊断与控制(RT-CDC)单元集成,该单元被配置为从一个或多个传感器获取高速数据并提供到ECU 102的低速数据输出。在一些情况下,本文中描述的点火控制是提供ECU 102和火花模块106的运行的独立点火控制系统。传感器可以集成到控制模块之一中,比如ECU 102或RT-CDC。其他传感器也是可能的,并且本文中描述的系统可以包括多于一个这样的传感器,以有助于感测上述发动机操作参数。

[0077] 图1B是图1A中的发动机系统100的发动机控制系统200的示意图。图1B示出了发动机控制系统200内的ECU 102,其被配置为控制发动机101。如上所述,高速压力数据272由压力传感器172产生,每个压力传感器安装成能够直接进入燃烧室。压力信号272以高曲柄同步速率被捕获,例如,发动机101的每个周期 0.25° 分辨率或2880个样本。该合成曲柄角信号是从较低分辨率的曲柄位置信号生成的。例如,对于典型的曲柄角编码器171,其通过感测盘上的齿边缘的通过来产生曲柄角信号215,该盘安装成随曲柄旋转,曲柄位置的分辨率基于齿的数量确定。典型的60-2齿轮的分辨率为 6° 。但是,在一些情况下,使用插值来确定各边缘之间的空间中的曲柄角。因此,各边缘之间的间隔使用先前观察到的齿周期除以实现所需角度采样分辨率所需的边缘数。考虑到即使平均发动机转速恒定也可以看到的各曲柄齿之间的微小变化,编码器系统在每个边缘都重新同步。

[0078] 在一些情况下,实时燃烧诊断和控制(RT-CDC) 211模块中的燃烧诊断例程使用所得到的高分辨率压力信号272,以对于每个气缸每个周期生成燃烧诊断219,例如IMEP、 $P_{\text{最大}}$ 、CA50、燃烧质量和燃烧强度,如下文更详细地论述的。指标218随后被ECU 102用作通过调制发动机控制致动器设置219来调整关键燃烧性能特性的反馈信号。

[0079] 图1C是被配置为具有本文中公开的系统和方法的各方面的示例性发动机控制单元102的框图。示例性发动机控制单元102包括处理器191、存储器192、存储设备1930和一个或多个输入/输出接口设备194。部件191、192、193和194中的每一个可以例如通过使用系统总线195互连。

[0080] 处理器191能够处理用于在发动机控制单元102中执行的指令。这里使用的术语“执行”是指一种技术,其中,程序代码使处理器执行一个或多个处理器指令。在一些实施方式中,处理器191是单线程处理器。在一些实施方式中,处理器191是多线程处理器。处理器191能够处理存储在存储器192中或存储设备193上的指令。处理器1910可以执行诸如计算燃烧强度之类的操作。

[0081] 存储器192在发动机控制单元102内存储信息。在一些实施方式中,存储器192是计算机可读介质。在一些实施方式中,存储器192是易失性存储单元。在一些实施方式中,存储器192是非易失性存储单元。

[0082] 存储设备193能够为发动机控制单元102提供大容量存储器。在一些实施方式中,存储设备193是非暂时性计算机可读介质。在各种不同的实施方式中,存储设备193可以包括例如硬盘设备、光盘设备、固态驱动器、闪存驱动器、磁带或一些其他大容量存储设备。输入/输出接口设备194为发动机控制单元102提供输入/输出操作。在一些实施方式中,输入/输出接口设备194可以包括缸内压力传感器172、曲柄角传感器171或其他发动机传感器。

[0083] 在一些示例中,发动机控制单元102被包含在单个集成电路封装内。有时将这种发动机控制单元102称为微控制器,其中,处理器191和一个或多个其他部件两者都被容纳在单个集成电路封装内和/或被制造为单个集成电路。在一些实施方式中,集成电路封装包括对应于输入/输出端口的引脚,例如,所述引脚可用于与一个或多个输入/输出接口设备1140进行信号通信。

[0084] 本文中描述的构思的一些方面涵盖按周期收集和/或处理缸内压力信息的能力以及以下算法:

[0085] (I)峰值压力—一个事件期间的最大燃烧压力;

- [0086] (II) 压力升高速率—燃烧期间的最大压力升高速率；
- [0087] (III) 压力脉动—增量P的总和,也称为“基于压力的爆震指数”；
- [0088] (IV) 燃烧持续时间—CAx1与CAx2之间的曲柄角度；
- [0089] (V) 放热斜率—前半段燃烧过程与后半段燃烧过程相比的决定因素；
- [0090] (VI) 峰值压力的位置；
- [0091] (VII) 脉动的位置；
- [0092] (VIII) 放热速率形心的位置；
- [0093] (IX) 最大放热速率的位置；

[0094] 本公开的一些方面使用上面列出的燃烧指标来确定燃烧强度数值,然后可以在控制回路中使用该燃烧强度数值以安全地驱动发动机至最大燃气置换率。所有这些指标都是必需的,以便涵盖双燃料发动机上可以看到的许多不同情形。

[0095] 本文中公开的使能技术的一个示例是放热变化算法以及燃烧持续时间。放热变化可以静态地确定或动态地确定,以便准确确定燃烧加速的拐点。

[0096] 以前,在双燃料发动机中,使用了振动传感器,但是它们仅允许控制器检测由于极端自动点火的存在而引起的严重爆震。传统方案使用加速度计来确定频率和振幅,以检测爆燃。但是,传统方案不适用于双燃料发动机,因为随着达到更高的置换率,信号会衰减。这使得很难理解到接近非受控的燃烧。如果需要更高的置换率,则控制器采取行动的阈值必须大于正常双燃料燃烧期间的最高信号。为了保持发动机安全运行,爆震阈值应低于最高强度,但是,这将限制容许的置换率,如图2中所示。图2示出了在示例性发动机中随燃气置换率的变化经处理的加速度计检测结果的图,如下文更详细地论述的。该技术尤其在双燃料燃烧中失效,这是因为柴油燃烧脉纹在一些双燃料模式下以及随后在高GSR下所有频率成分消失时使信号模糊,从而无法清楚地指示非受控的燃烧的安全裕度。需要一种可以捕获燃烧状态的更稳健的检测方法。考虑到这一点,制定了燃烧强度(CI)指标。

[0097] 本公开的一些方面涉及使用直接缸内压力测量值来计算发动机指标,该发动机指标能够以一些组合使用以随着置换率持续增加而给出增加的检测信号。这允许发动机控制器在了解发动机与非受控的燃烧有多接近的同时实现最大置换率,因此保持发动机安全运行。CI指标的一个示例表示为放热速率和压力升高速率指标的加权和,同时包括诸如压力脉动和峰值压力之类的经典指标。在一些情况下,CI可以是上文确定的任何参数的任何数学组合,例如多项式、加权和、指数或幂律和、或非线性函数、CI=函数(峰值压力,压力升高速率,压力脉动,燃烧持续时间,发热变化速率,爆震指数)；

[0098] 一个示例性燃烧强度指标被表示为参数的线性和,如下面的等式1所示。

[0099] 等式1:

[0100] $CI = (a1 \cdot \text{峰值压力}) + (a2 \cdot \text{压力升高速率}) + (a3 \cdot \text{压力脉动}) + (a3 \cdot \text{燃烧持续时间}) + (a4 \cdot \text{放热变化速率}) + (a5 \cdot \text{爆震指数})$

[0101] 该CI指标使用基于压力的信息和热释放信息,并且不具有传统的基于振动的检测的限制。在一些情况下,CI指标是压力指标、放热指标和经典爆震指标的和。

[0102] 在一些情况下,CI指标结合了实际的发动机极限值,可以通过了解发动机的机械极限而轻易地校准这些极限值。在一些情况下,该CI指标还结合了经典的爆震检测和峰值压力极限值,以具有辅助安全量度。CI指标与实验室校准期间可在压力轨迹中观察到的定

性的燃烧感测很好地关联。图6中所示的燃烧强度指标随着燃气置换率的增加从30%逐渐增加到94%。下文在示例1中更详细论述的图6示出了燃烧强指标与燃气置换率的关系,其示出了燃烧强指标与经典爆震强指标之间作为对接近非受控的燃烧的量度的比较。可以设置明确的线性控制动作路径,控制器可以以此为目标来最大化燃气置换率,同时与非受控的燃烧保持期望的安全裕度。在一些情况下,燃烧强度指标描述(或用于确定)发动机运行到非受控的燃烧的接近程度。例如通过使用燃烧强度指标来控制GSR的增加而不引起非受控的燃烧,通过在允许GSR增加的同时保持安全的发动机运行,这允许在使发动机达到更高的置换率的同时保持安全运行。燃烧强度指标例如通过提供当前燃烧状态的更准确的“图像”来允许这种安全的增加,这是因为CI指标会随着非受控的燃烧的可能性而增加。因此,在发动机控制中使用CI指标可以例如使得能够选择目标CI值,然后在控制回路中使用CI指标以最大化目标CI内的GSR。在一些情况下,CI指标会降低校准要求。

[0103] 本公开的各方面使得能够不再在传统的基于时间的频域中考虑非受控的燃烧(爆燃),而是从基于实际发动机极限的直接缸内压力信息进行考虑。这些方面能够降低损坏高置换率双燃料发动机的风险。由于燃烧强度指标使用已知的机械发动机极限值,因此大大减少了检测非受控的燃烧的校准工作。示例性实施方式还允许发动机始终以最大置换率控制运行,而不必增加安全裕度,这为双燃料发动机操作员提供了更具价值的建议。

[0104] 基于振动的检测的示例性改进是在燃烧的同时结合了放热,因为这是添加天然气的主要效果,如在图7中所示的0%、60%和90%燃气置换率(GSR)处的经平滑的放热轨迹的图中可见且下文将在示例1中更详细地论述的。在添加天然气后,传统的柴油预混尖峰降低,然后发展到60%时的极高的放热速率。可以对其进行监测,以了解燃烧强度的当前状态。在90%GSR或以上时,燃烧完全变为以燃气为主导,并且发动机表现为几乎类似于火花点火发动机或微先导点火式燃气发动机。

[0105] CI指标是燃烧状态的渐进量度,并且是接近非受控的燃烧的良好指示,如在以下示例中可以看到。

[0106] 示例1

[0107] 进行了添加燃气对柴油—天然气双燃料发动机的原始柴油燃烧特性的影响的研究,其中,原始柴油发动机的备用发动机压缩比保持不变。该研究中使用的双燃料发动机的规格如表1中所示。使用伍德沃德爆震传感器(WLEKS)和奇石乐(Kistler)6058A压电缸内压力传感器来捕获德维创(Dewetron)燃烧分析仪上任何非受控的燃烧,并以200kHz采样。在使用化学能分配计算用燃气代替柴油之前,始终使发动机处于IMEP和MAT的100%柴油目标设定点的稳定运行工况。在上止点之前的2至8度之间注入柴油,具体取决于发动机在速度负荷图中的运行位置。燃气置换率(GSR)以10%的增量递增,并在不同的速度和负载点重复。以下附图(图2—11)中所示的数据是300个燃烧周期的平均值。本研究中使用的天然气的甲烷值约为82,其中甲烷为84%,乙烷为9%,丙烷为1%。

	气缸	4
	孔	82mm
	冲程	90.4mm
	压缩比	17.5 : 1
[0108]	柴油供给	共轨
	燃气供给	端口注入
	额定扭矩	2000 转每分的情况 下 315nM
	最大 BMEP	20 巴

[0109] 表1:双燃料发动机规格

[0110] 在图3中绘制了在10巴IMEP、1400转每分下捕获的原始缸内压力和振动爆震轨迹的示例。图3是在1400转每分和10巴IMEP下在0%、60%和90%燃气置换率301、302、303(GSR)下的缸内压力和振动轨迹的图。图3表明在0%的燃气(100%的柴油)运行时可见压力脉动(柴油燃烧)。随着燃气从0%GSR增加到30%GSR(未示出),总体燃烧开始变得更安定,其中,柴油燃烧仍占主导地位。进一步增加到60%(第二条曲线)示出了一个较嘈杂的柴油-燃气燃烧区域,同时通过振动和缸内压力传感器检测到爆震频率分量增加。这可从图2中看出,其中,压力和振动爆震强度在60%GSR时达到最大值。在90%GSR时,振动信号处于最安定的位置(第三条曲线)。

[0111] 图4是振动和压力爆震强度与燃气置换率的图。图3和图4示出了以下挑战:振动爆震信号在该运行点的强度从0%GSR到60%GSR增加,这也在图4中捕获,但随后下降并在90%置换率处降至最低值—即恰好在观察到非常强烈的燃烧爆震之前(这也在图2中指出,但无法记录300多个周期)。随着燃气置换率从60%燃气置换率增至85%燃气置换率,燃气燃烧在燃烧的后半段变得越来越占主导地位。在该阶段,所有频率成分消失,如图4中所见。压力脉动或爆震频谱含量的经典方法变得难以检测到对爆震或非受控的燃烧的接近。这给发动机控制器带来了非常困难的控制问题,这是因为当发动机在非受控的燃烧附近运行时,难以精确地执行闭环控制。这与火花点火式燃气发动机不同,其中,基于振动的爆震可以检测轻度、中度和重度爆震,因此使控制器能够在发生重度/严重爆震之前调整发动机参数。在双燃料发动机中,可使用振动传感器,但是它们仅允许控制器检测由于极端自动点火的存在而引起的严重爆震。明智的是,使用开环表或低得多的允许的GSR来将爆震水平保持在单调范围内。如果需要更高的置换率,则控制器采取行动的阈值必须大于正常双燃料燃烧期间的最高信号。为了保持发动机安全运行,爆震阈值应低于最高强度,但是,这将限制容许的置换率,如图2中所示。

[0112] 图5A是在各种速度下的压力爆震强度与燃气置换率的2维等值线图,图5B是在各种速度下的振动爆震强度与燃气置换率的2维等值线图。图5A和6B指示了非单调和非线性趋势,这将证明很难设计一种鲁棒的控制。压力爆震强度和振动爆震强度技术在双燃料燃烧中失效,这是因为柴油燃烧脉纹在某些双燃料模式下以及随后在高GSR下所有频率成分

消失时使信号模糊,从而无法清楚地指示非受控的燃烧的安全裕度。

[0113] 图6是示出燃烧强度(CI)指标效果与作为对非受控的燃烧的近似测量以及作为燃气置换的函数的经典爆震强度指标关系的曲线图。本公开的CI指标是可以捕获燃烧状态的更稳健的检测方法。图6表明CI指标提供了对接近非受控的燃烧的良好指示,并且在一些情况下,CI指标是对燃烧状态的渐进量度。CI指标结合了实际的发动机极限值,可以通过了解发动机的机械极限而校准这些极限值。在一些实施方式中且如以上在等式1中所示的,CI是放热速率和压力升高速率指标的加权和,此外还包括诸如压力脉动和峰值压力之类的经典指标。在一些情况下,CI指标使用基于压力的信息和热释放信息,其不具有传统的基于振动的检测的限制。在一些情况下,CI指标还结合了经典的爆震检测和峰值压力极限值,以具有辅助安全量度。在一些实施方式中,CI指标与实验室校准期间可在压力轨迹中观察到的定性的燃烧感测很好地关联。

[0114] 图7是在0%(701)、60%(702)和90%(703)燃气置换率下的平滑放热轨迹图。基于振动的检测的主要改进是结合了实时放热,因为这是添加天然气的主要效果,如在图7中所示的0%、60%和90%燃气置换率(GSR)处的经平滑的放热轨迹的图中可见的。在添加天然气后,传统的柴油预混尖峰降低,然后发展到60%时的极高的组合放热速率。可以对其进行监测,以了解燃烧强度的当前状态。在90%GSR或以上时,燃烧完全变为以燃气为主导,并且发动机表现为几乎类似于火花点火发动机或微先导点火式燃气发动机。

[0115] 再次参考图6,CI指标随着燃气置换率从30%增加到94%而逐渐增加。可以设置明确的线性控制动作路径,控制器可以以此为目标来最大化燃气置换率,同时与非受控的燃烧保持期望的安全裕度。即使在图8中所示的燃烧强度的2维等值线图中也可以看到这种线性,其在所有速度下都有单调趋势。CI计算中有助于使该指标线性化的指标之一是放热速率,因为随着添加更多的燃气,燃烧持续时间的后半部分的燃烧会变得更快速,如图9中所示。

[0116] 图9是10%(901)、50%(902)和90%(903)的总放热的角位置与燃气置换率的关系图。在图9中,示出了10%、50%和90%的总放热的曲柄角位置,这有助于理解燃烧定相、点火延迟和燃烧速率。随着柴油被燃气代替,在该运行点处喷射开始(SOI)和CA50不受影响,这表明燃烧定相没有太大变化。随着GSR的增加,CA90与CA50之间的角度间隔急剧减小,这表明终端燃气的更快燃烧。此外,随着GSR从0%增加到70%,CA10略有增加,从而表明更长的点火延迟。随着燃气移走空气,氧气浓度会更低,因此混合物更浓,点火延迟更长。相应地,随着燃气/空气混合物变得更浓,火焰速度持续增加,直到出现非常短的燃烧持续时间,这就是终端燃气自燃的条件。在以上所示的运行点处,没有达到终端燃气自燃条件,GSR达到94%,此时达到了柴油喷射器输出的极限点。

[0117] 增加的GSR导致终端燃气自燃,且压力中有较大的脉动,如图10和11中的压力和放热速率轨迹所示。图10和11示出了0%(1001)、60%(1002)和90%(1003)燃气置换率下的缸内压力与曲柄角的关系图,以及0%(1101)、60%(1102)和90%(1003)燃气置换率下的经平滑的放热轨迹与曲柄角的关系图。图12是燃烧强度和爆震强度指标与燃气置换率(GSR)的关系图,其示出,当存在严重的终端燃气爆震时,压力爆震强度指标和振动爆震强度指标两者都随燃烧强度一起急剧增加。因此,看来直到发生强烈的爆震才能清楚地看到基于频率的检测技术,比如振动或压力脉动中的频谱成份。在低负载下,由于趋势是非单调的,因此这些振动或压力技术难以清楚地确定距爆震的裕度。如果要确定一个简单的基于阈值的猛

烈性,则该示例表明,高阈值水平只会捕获可能突然发生的严重到会损坏发动机的爆震事件。如果使用较低的阈值水平来量化猛烈性,则不应使发动机超过50—60%的燃气置换率。相反,本发明中的CI指标提供了对燃烧状态的持续增加的量度,以提供更好的可控制性并增加最大安全燃气置换率(例如,高达95%的燃气置换率),同时改善了针对非受控的燃烧的防护。

[0118] 示例2

[0119] 在实施例2中,通过用丙烷代替天然气来模拟燃气质量的影响。图13和图14示出在1800转每分、16巴IMEP下在固定(总)燃气置换率为80%下随着丙烷置换比(PSR)从0%增加至15%的压力1301、1302、1303与经平滑的放热速率1401、1402、1403轨迹。在该测试中,柴油的贡献率保持在20%,而丙烷使用化学能分配计算以5%PSR的增量置换了天然气。这些图表明,即使是很小的比例的丙烷也会引起剧烈的放热和压力升高速率,并产生大且可见的压力振荡。图15是CI(1503)和爆震强度指标(1501、1502)与丙烷燃气置换率(PSR)的关系曲线图,并且表明,随着丙烷被添加,CI指标仍然可靠地指示高度不稳定的燃烧。

[0120] 图16是燃烧强度(1603)和爆震强度指标(1601、1601)与歧管空气温度(MAT)的关系图。图16示出了增压空气温度或密度对检测接近非受控的燃烧的影响。增压空气温度的升高会影响点火延迟、缸内温度升高速率和发动机的自动点火倾向。随着歧管空气温度(MAT)在1800转每分、16巴IMEP下从40℃升高到60℃,对这些指标进行比较。结果表明,只有CI指标随着MAT线性增加,并且可以可靠地用作对非受控的燃烧的接近的量度,而其他爆震强度指标并未提供明确的趋势。

[0121] 示例3和示例4

[0122] 伍德沃德大型发动机控制模块(LECM)用于在真实的嵌入式ECU上测试CI指标,从而允许使用AUX(辅助)模块执行实时燃烧反馈。测试了两种情形,以示出CI指标检测燃烧变化的敏感性。图17A和图17B示出了第一测试情形,其中,如图17A中所示,以50%的移位和20%的振幅发出GSR(1701)的正弦波命令。图17B示出了当指标从0%强度变为90%强度时,CI量度对变化响应良好。然后将振幅降低到10%,CI指标在峰值处显示50%的强度。然后,在仍然命令正弦波的同时,用10%的丙烷(1702)代替天然气以模拟燃气质量变化,可以看出CI指标(1701)通过指示更高的强度来检测到该变化。

[0123] 对于第二种情形,如图18A中所示,允许歧管空气温度(MAT)增加到大约55℃,然后迅速冷却。图18B示出了CI指标随着MAT的增加而增加,如预期的那样。结果表明,CI指标可以很好地检测外部干扰。在一些情况下,CI指标用于将发动机控制到定义的极限。本文中公开的CI指标的各方面可以显著减少通常为双燃料发动机考虑的校准量以及安全裕量。这种检测方法应允许实现更高的替代率。

[0124] 图19是本公开的示例性方面的流程图1900。发动机控制器(例如,ECU 102)对来自缸内压力传感器的压力信号进行采样(1910),基于该压力信号计算燃烧强度指标(1920),其中,燃烧强度指标是发动机接近非受控的燃烧状况的指示,根据燃烧强度指标确定发动机控制参数(1930),以及基于发动机控制参数控制发动机(1940)。

[0125] 本说明书中描述的主题的实施方式,比如计算燃烧强度指标可以被实施为一个或多个计算机程序产品,即在有形程序载体上编码的计算机程序指令的一个或多个模块,例如由处理系统执行或控制处理系统的操作的计算机可读介质。计算机可读介质可以是机器

可读存储设备、机器可读存储基板、存储设备或它们中的一个或多个的组合。

[0126] 术语“发动机控制单元”可以涵盖用于处理数据的所有装置、设备和机器,例如包括可编程处理器、计算机或多个处理器或计算机。除了硬件之外,处理系统还可以包括为所讨论的计算机程序创建执行环境的代码,例如,构成处理器固件、协议栈、数据库管理系统、操作系统或其中的一个或多个的组的代码。

[0127] 计算机程序(也称为程序、软件、软件应用程序、脚本、可执行逻辑或代码)可以用任何形式的编程语言编写,包括编译或解释语言,或者说明性或程序性语言,它可以以任何形式进行部署,这些形式包括作为独立程序或作为模块、部件、子例程或适用于计算环境的其他单元。计算机程序不一定与文件系统中的文件相对应。程序可以存储在保存其他程序或数据的文件的一部分(例如,存储在标记的语言文档中的一个或多个脚本)中、存储在专用于所讨论的程序的单个文件中、或存储在多个协调文件(例如,存储一个或多个模块、子程序或部分代码的文件)中。可以将计算机程序部署成在一个计算机上执行,或者在位于一个站点处或分布在多个站点处并通过通信网络互连的多个计算机上执行。

[0128] 适用于存储计算机程序指令和数据的计算机可读介质包括所有形式的非易失性或易失性存储器、介质和存储设备,包括例如半导体存储设备,例如EPROM、EEPROM和闪存设备;磁盘,例如内部硬盘或可移除磁盘或磁带;磁光盘;以及CD-ROM、DVD-ROM和蓝光光盘。处理器和存储器可以由专用逻辑电路补充或并入专用逻辑电路中。

[0129] 首字母缩略词/缩写词:

[0130] ATDC=上死点之后

[0131] BTDC=上死点之前

[0132] CA50=50%质量分数燃烧的位置(曲柄角度ATDC)

[0133] CAN=控制器局域网

[0134] COV=变化系数

[0135] ECU=发动机控制单元

[0136] EGR=废气再循环

[0137] HCCI=均质充量压缩点火

[0138] IMEP=指示的平均有效压力(巴)

[0139] IVC=进气门关闭角

[0140] LTC=低温燃烧

[0141] MAP=歧管绝对压力(巴)

[0142] MAT=歧管绝对温度(K)

[0143] NO_x=氮氧化物

[0144] PCCI=预混合充量压缩点火

[0145] P_{loc}=峰值压力的位置(曲柄角度ATDC)

[0146] P_{max}=最大气缸压力(巴)

[0147] R&D=研究与开发

[0148] RCCI=反应性控制的压缩点火

[0149] RPR=压力升高速率(巴/曲柄角度)

[0150] RT-CDC=实时燃烧诊断和控制

[0151] SOC=燃烧开始(曲柄角度ATDC)

[0152] 已描述了多个实施例。然而,将理解到,可以进行各种修改。因此,其他实施例也在权利要求的范围内。

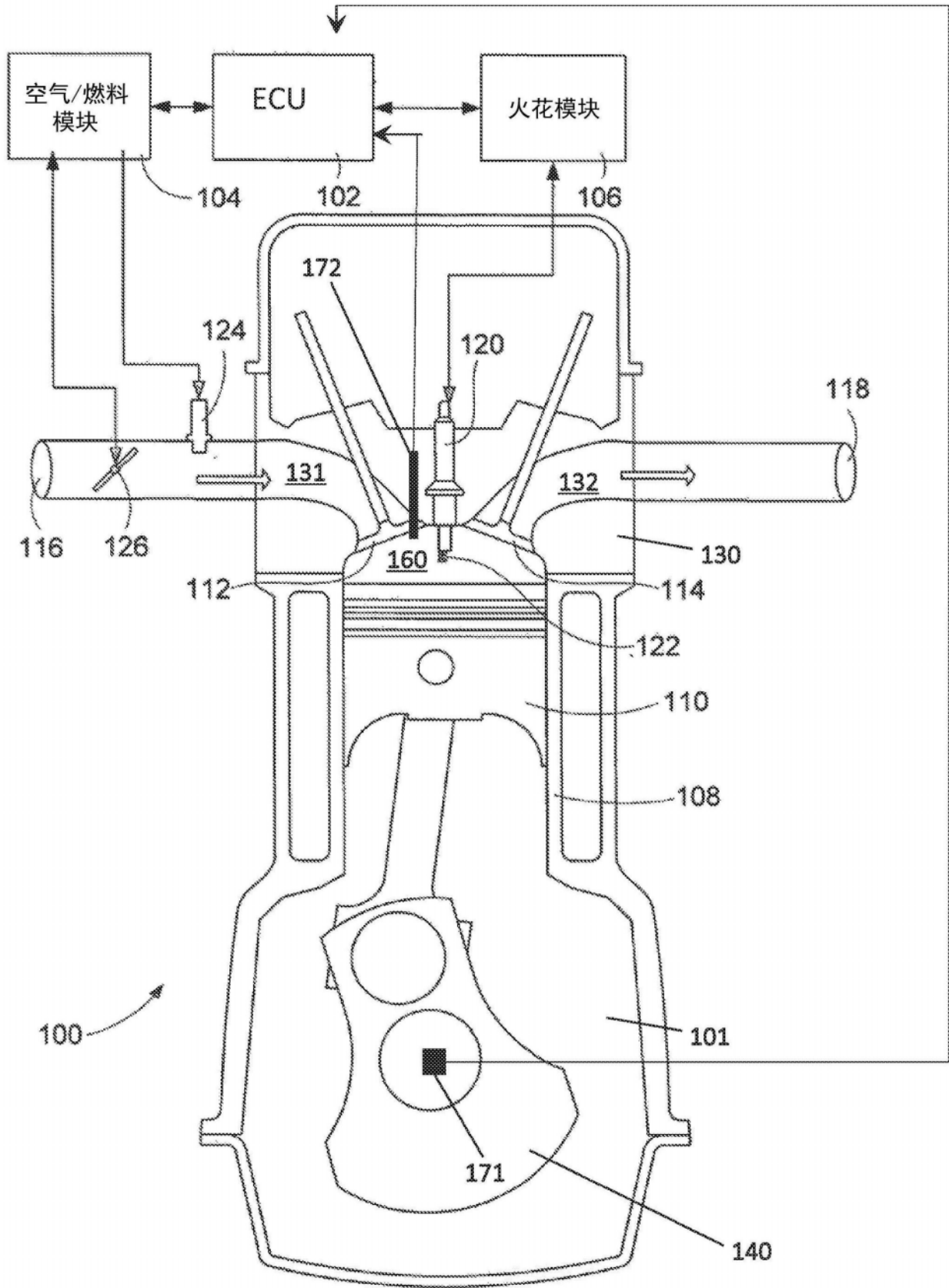


图1A

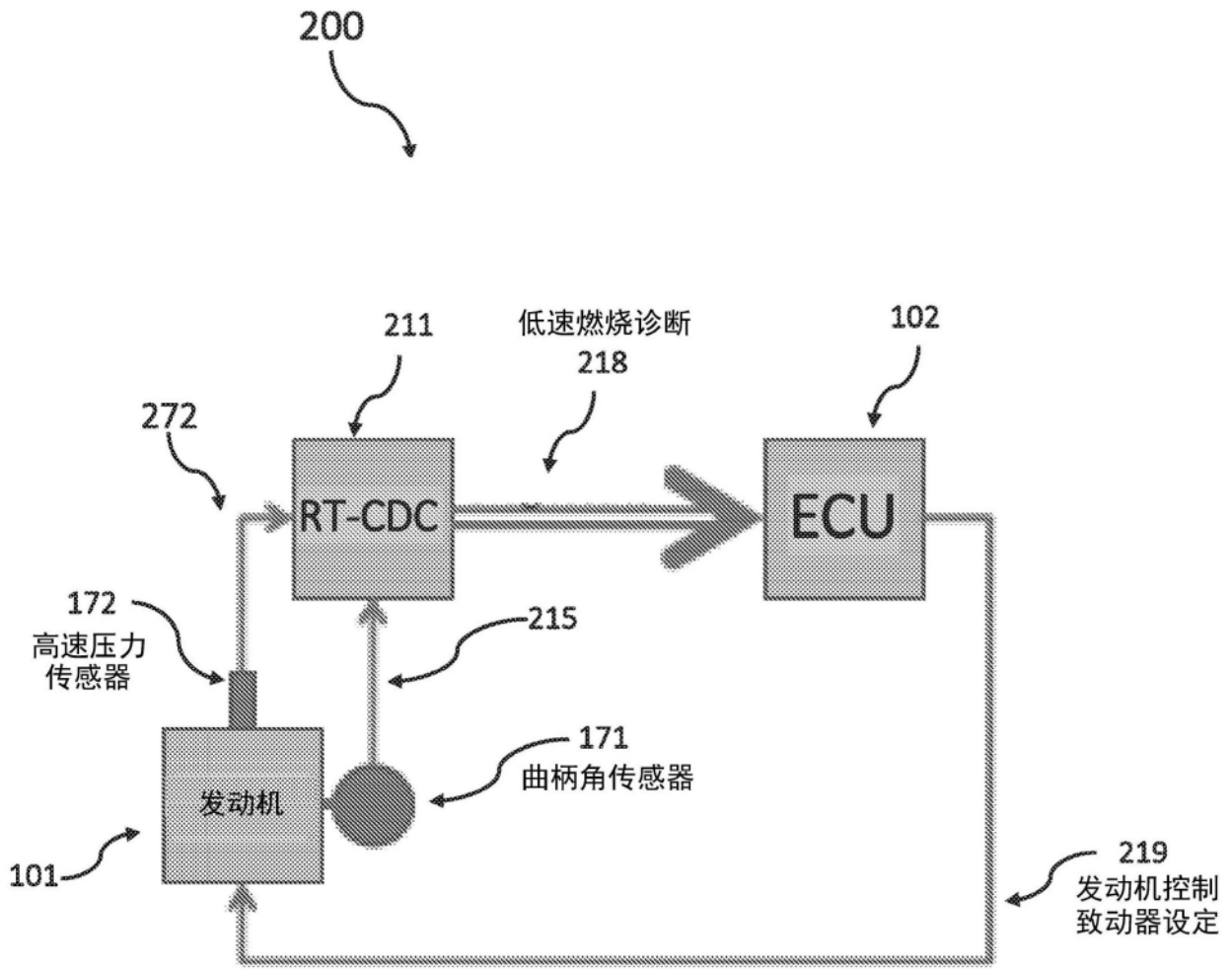


图1B

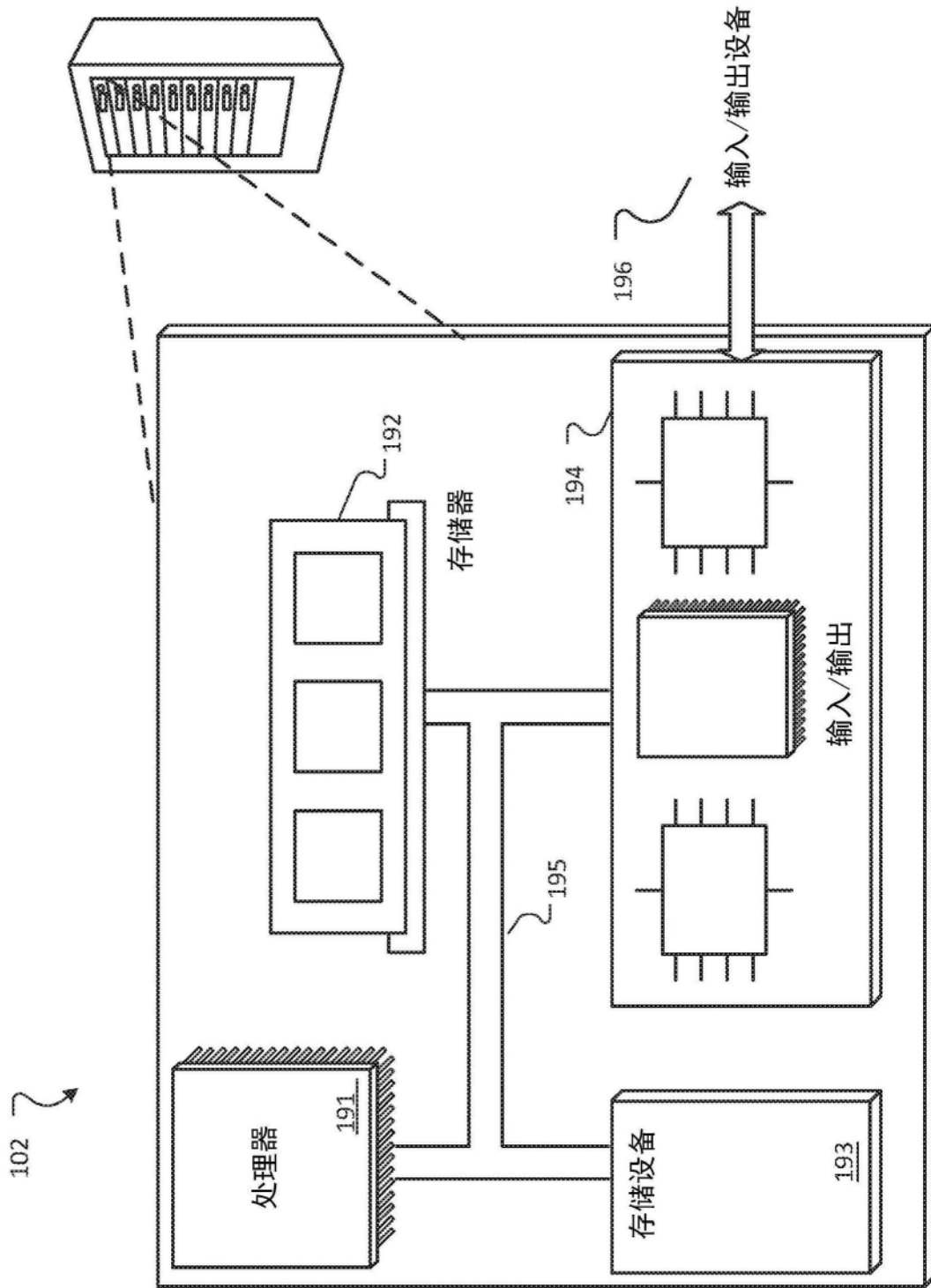


图1C

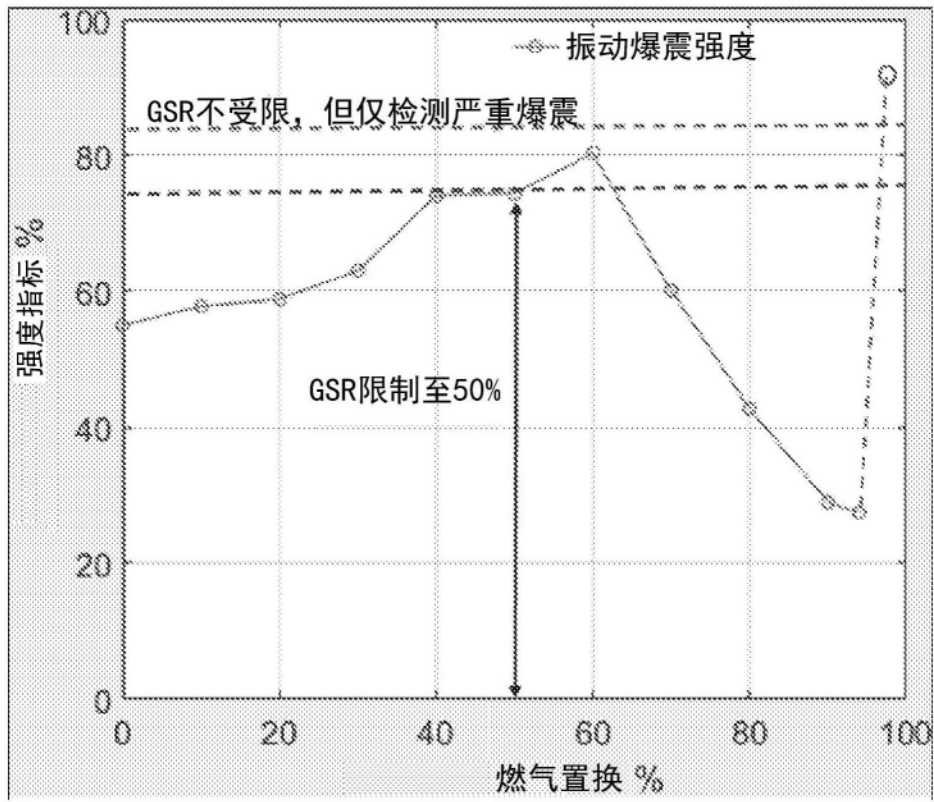


图2

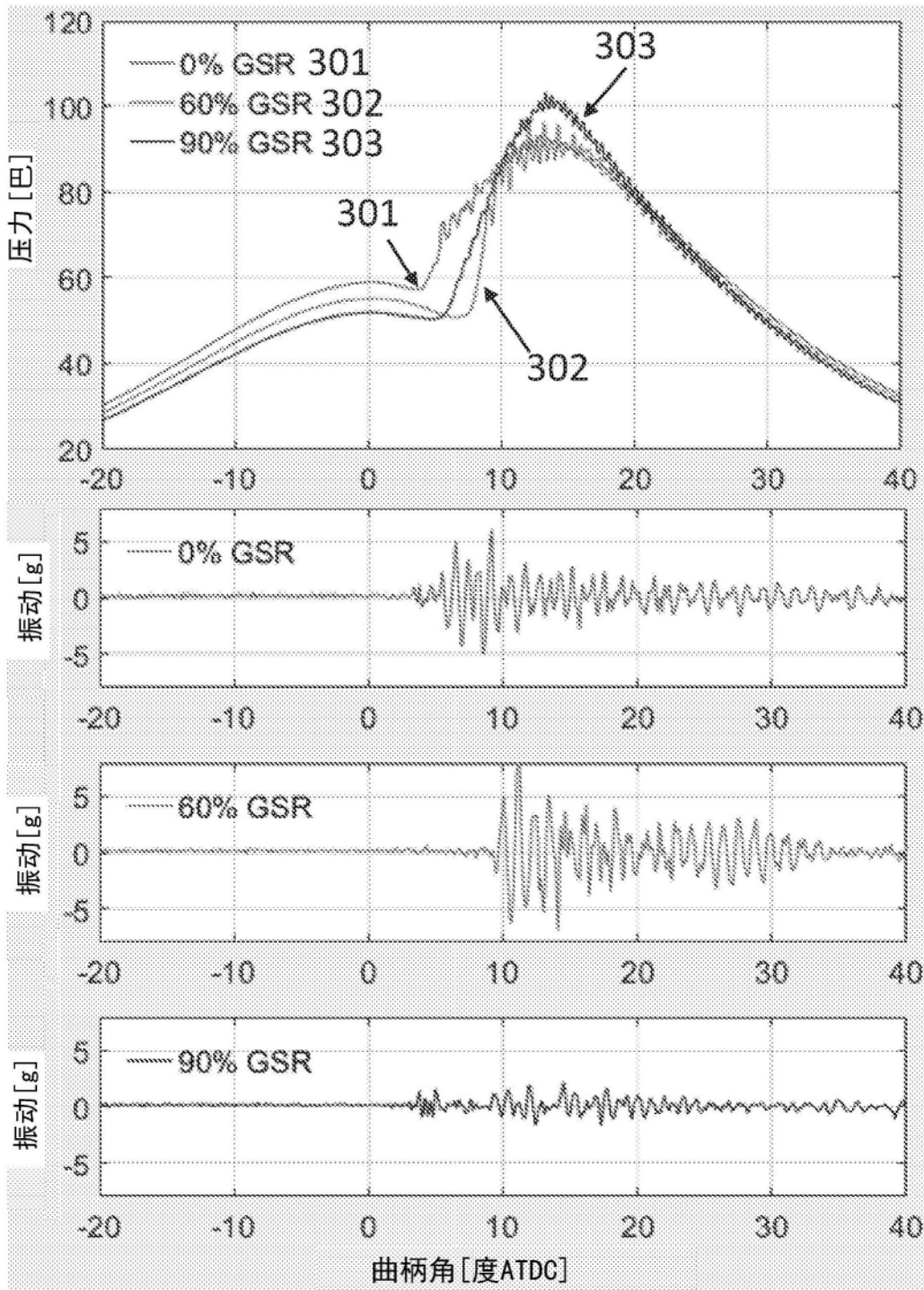


图3

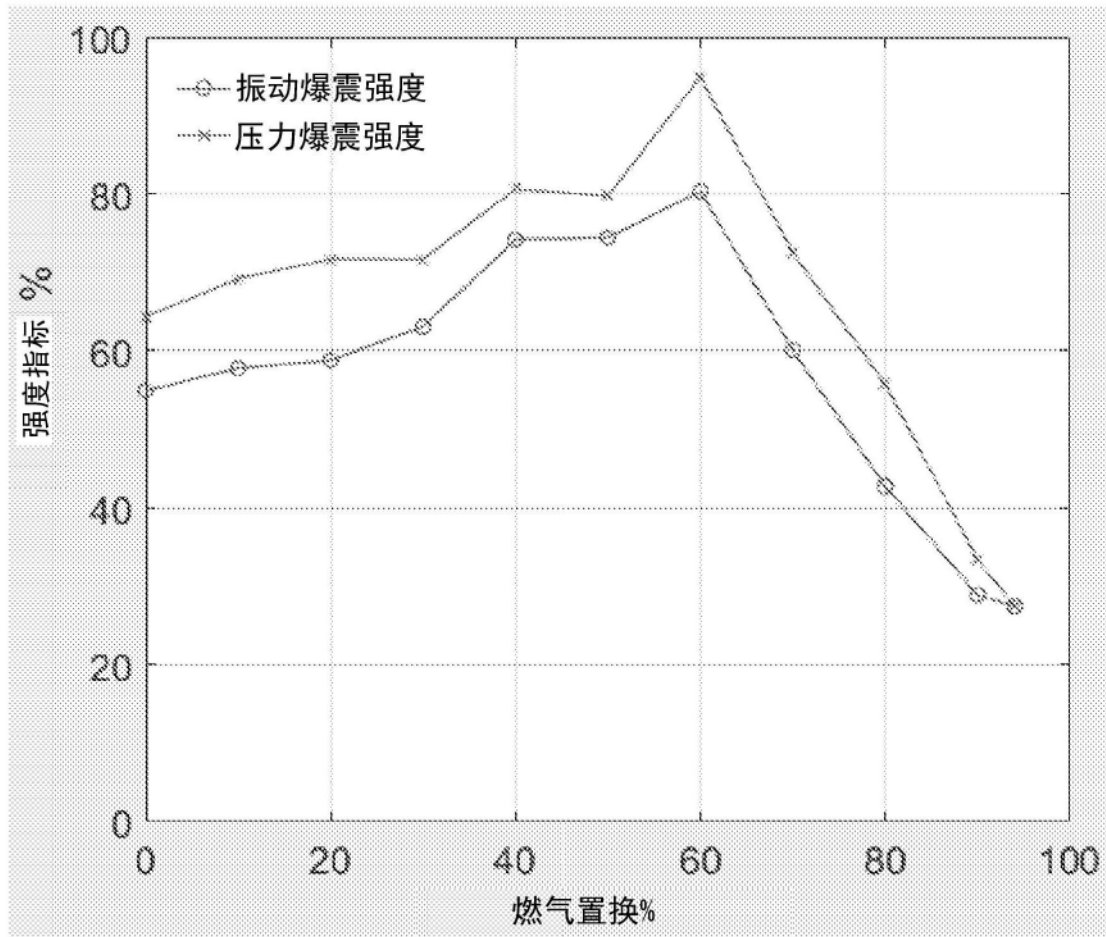


图4

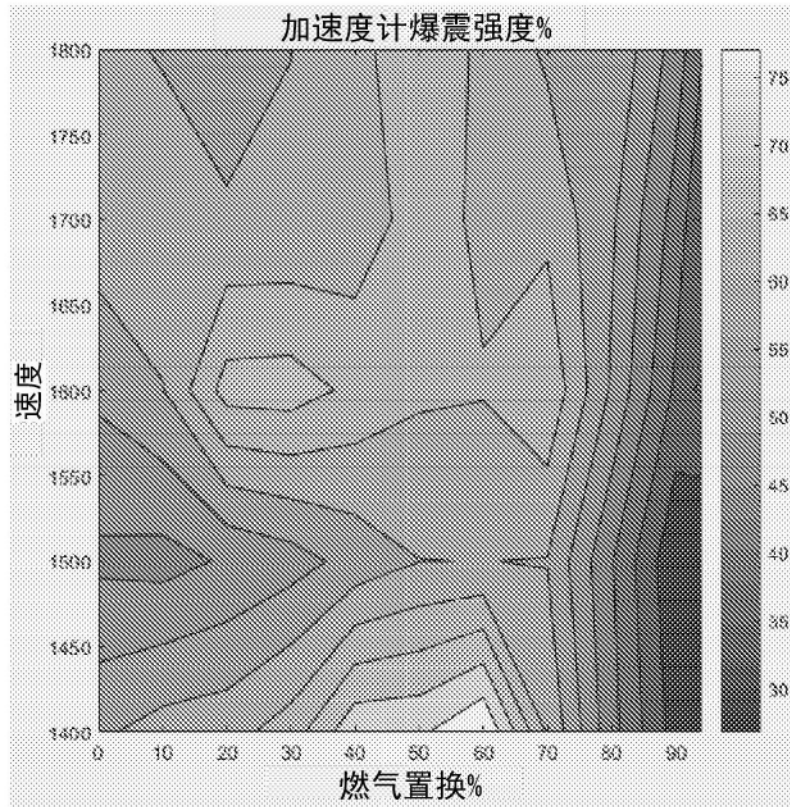


图5A

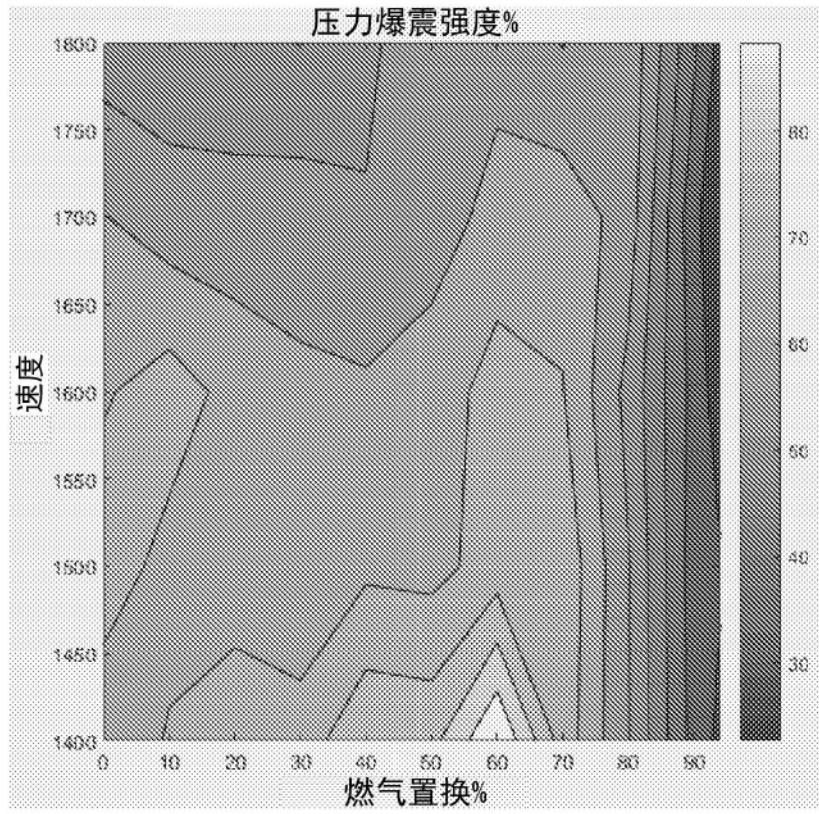


图5B

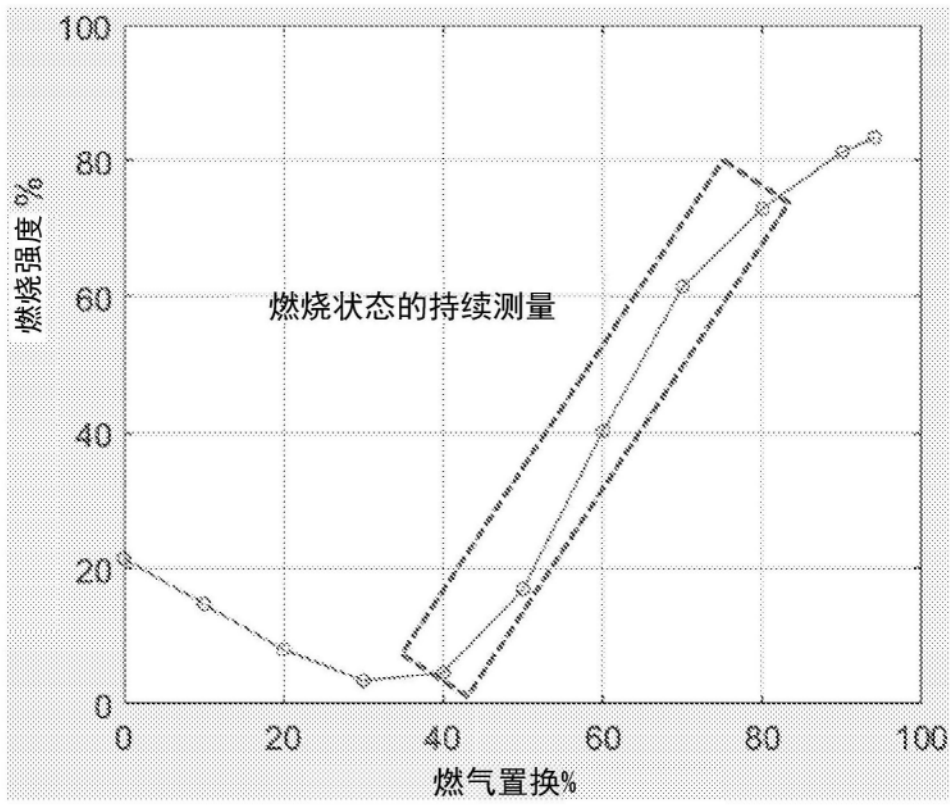


图6

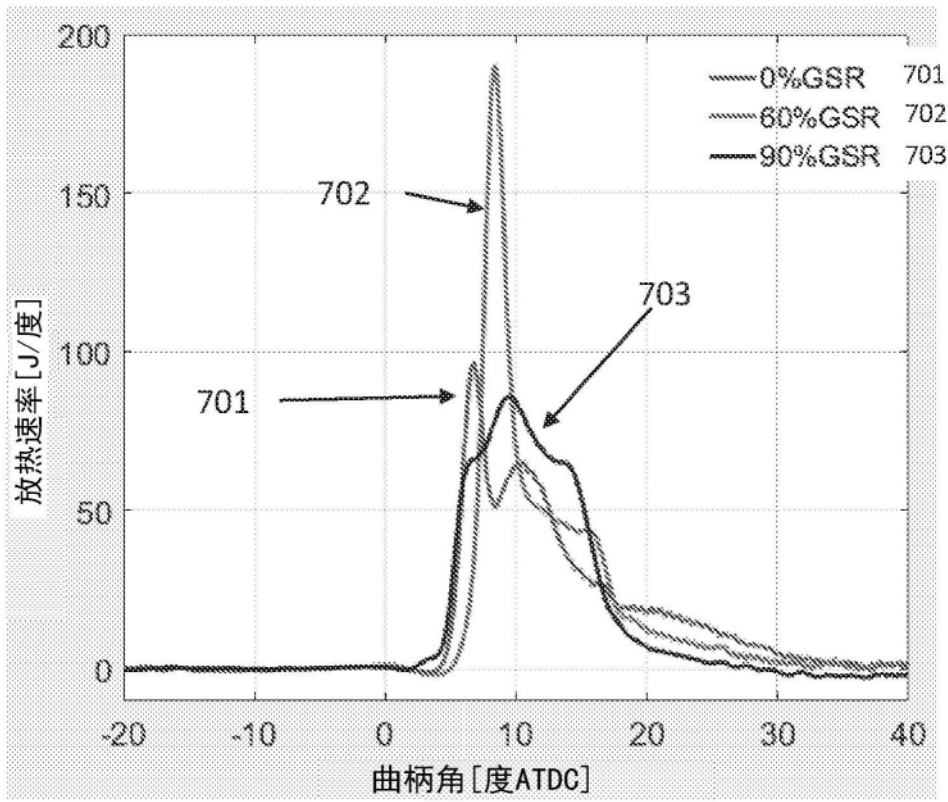


图7

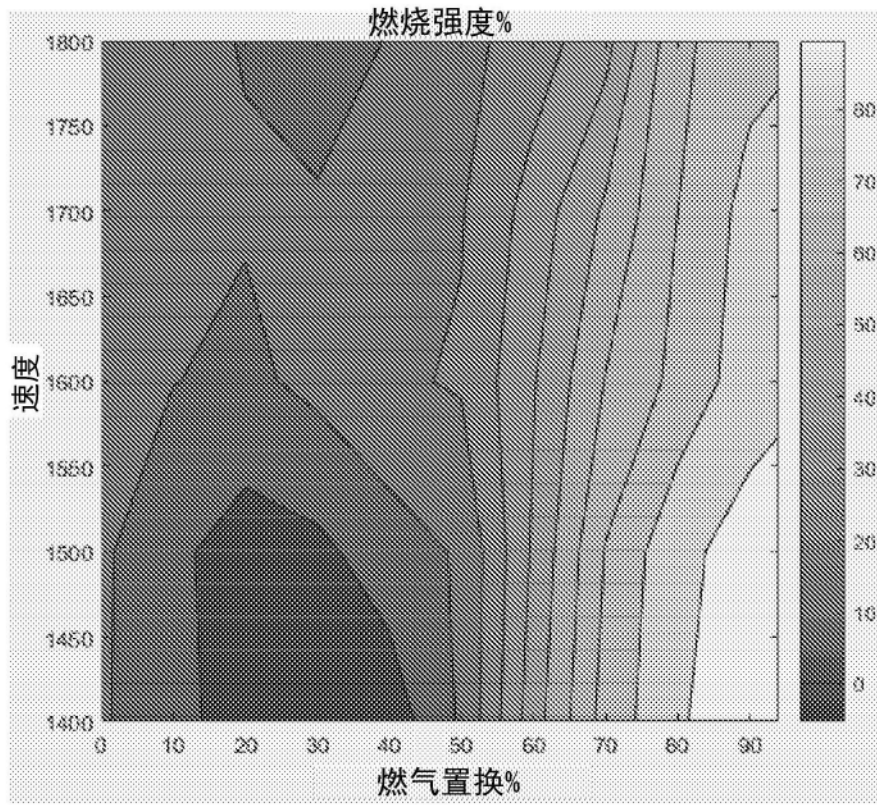


图8

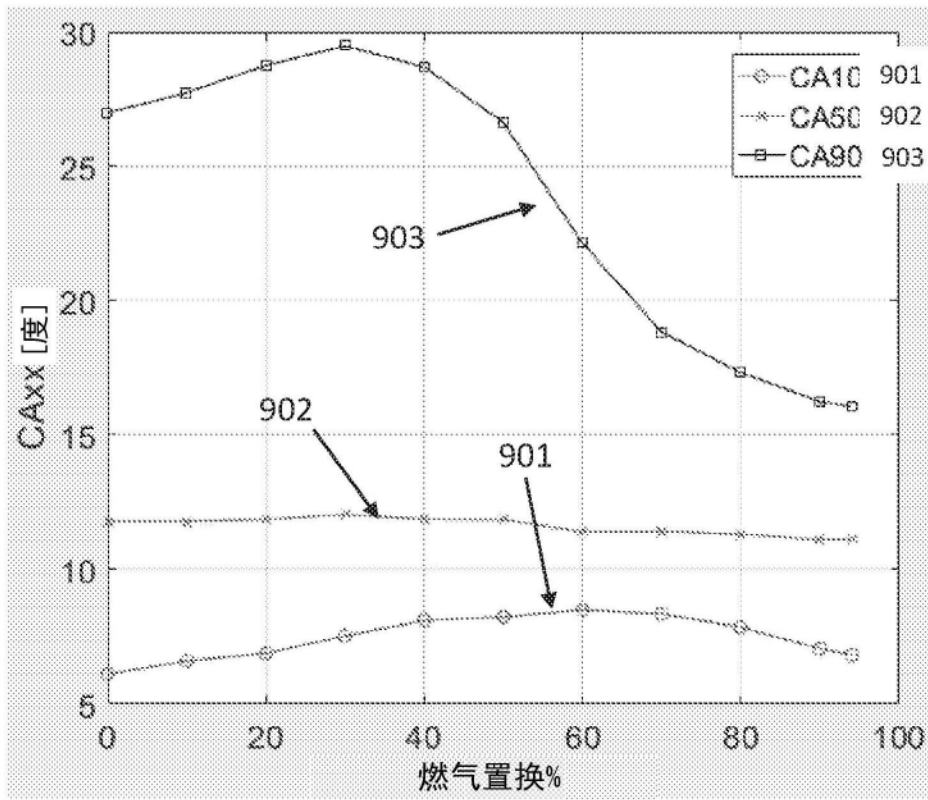


图9

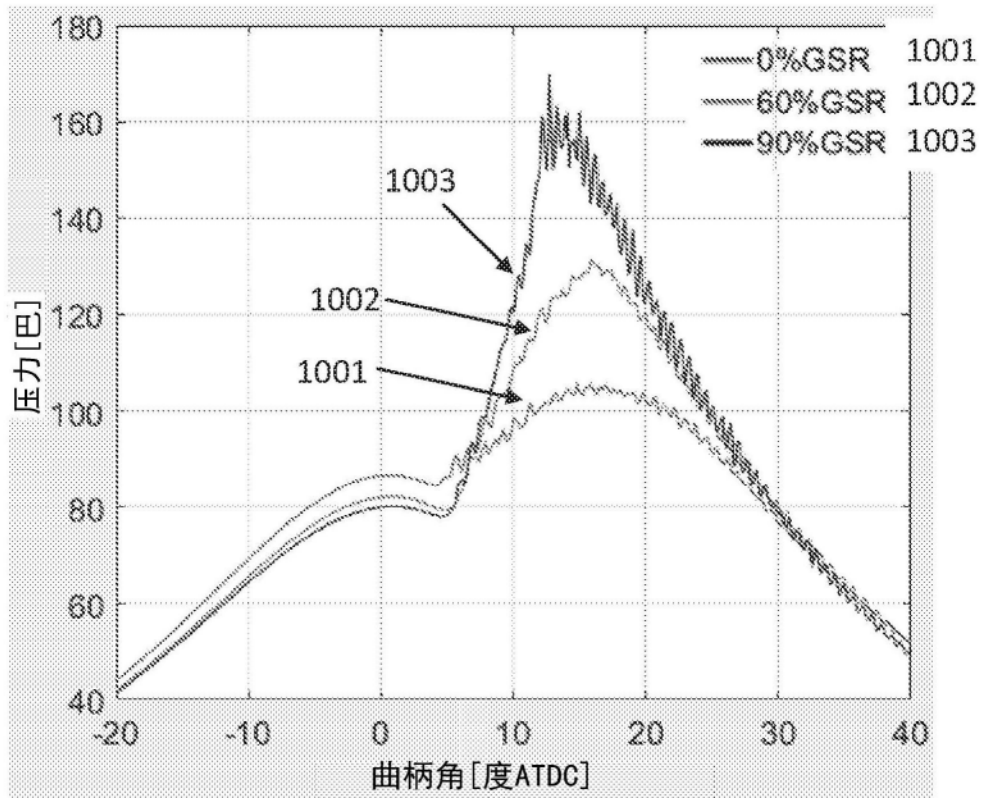


图10

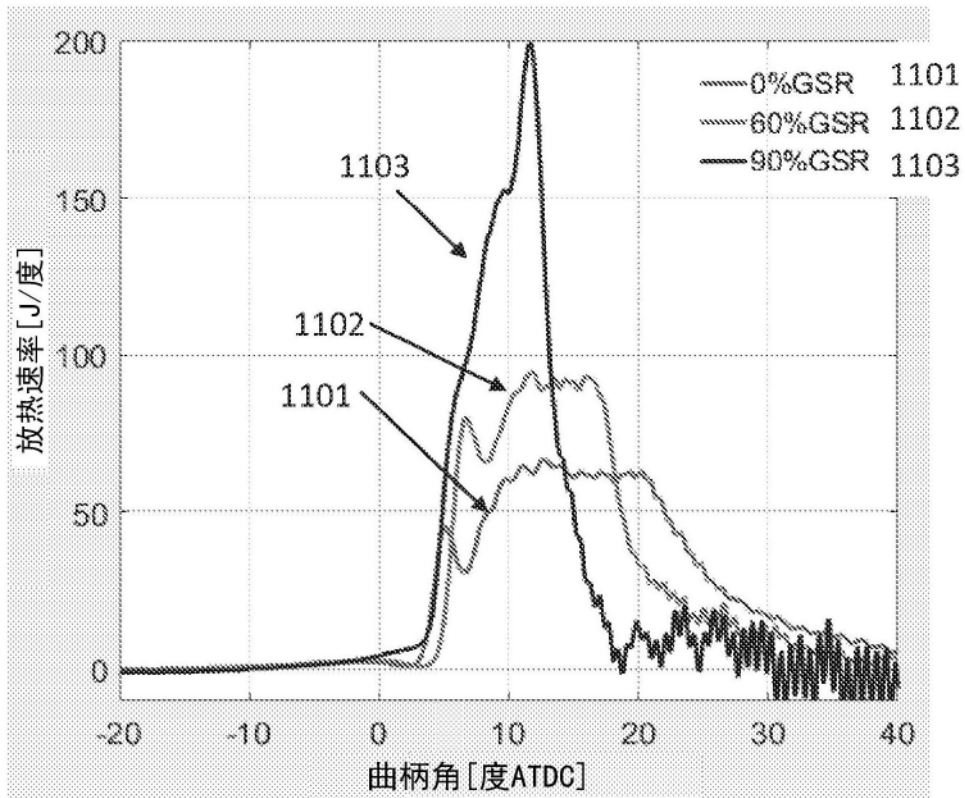


图11

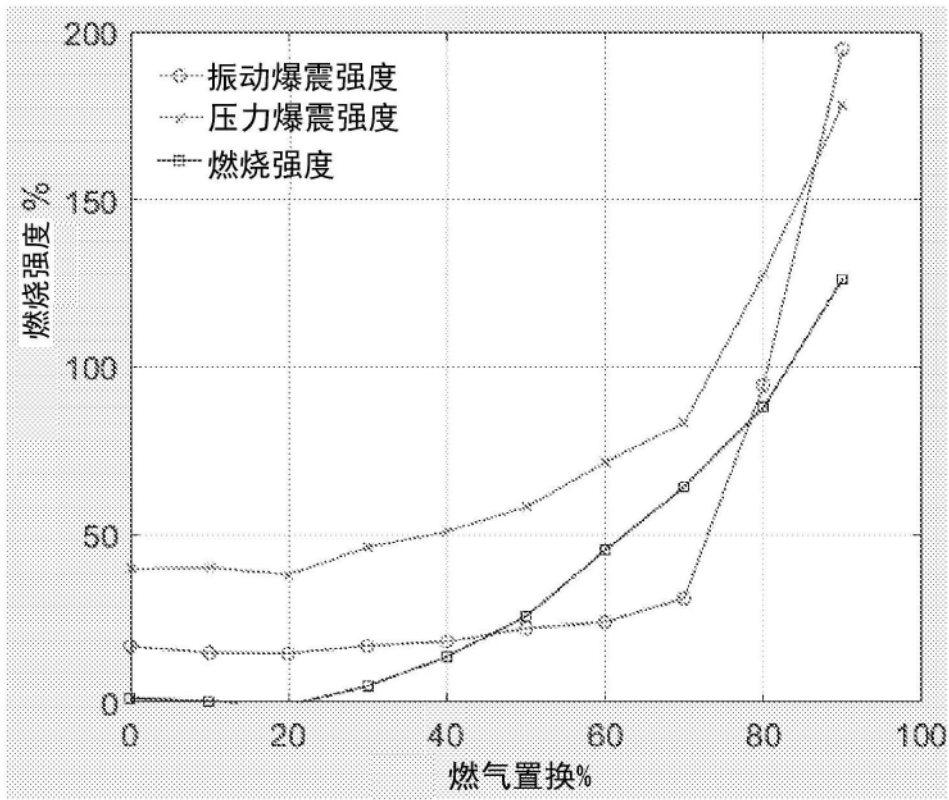


图12

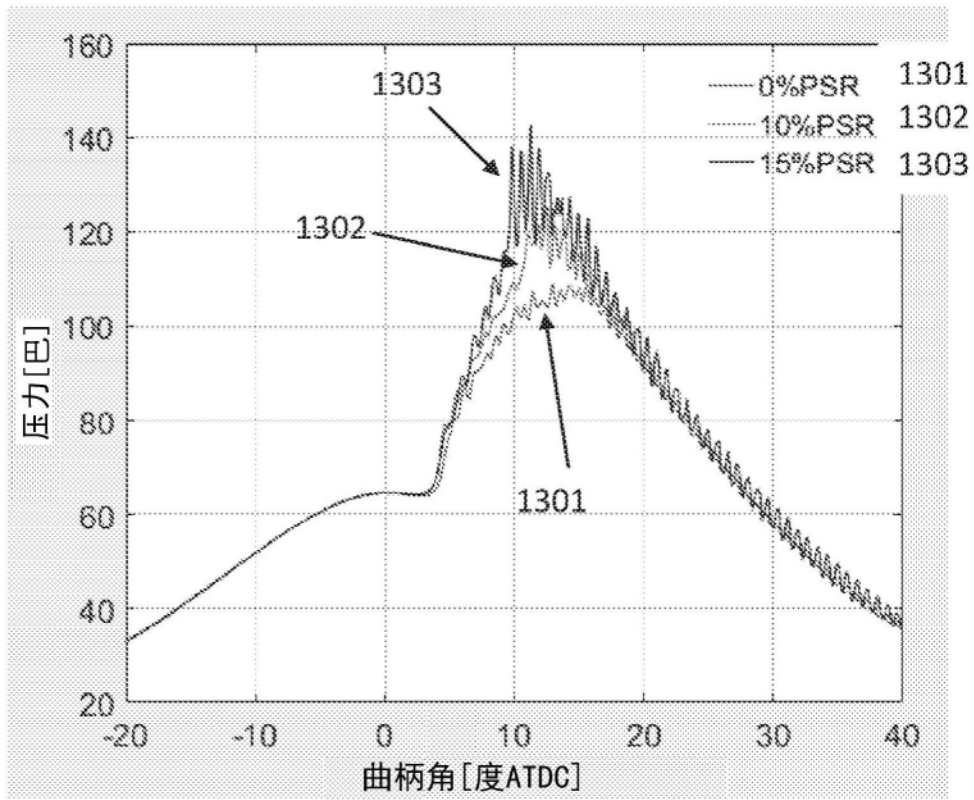


图13

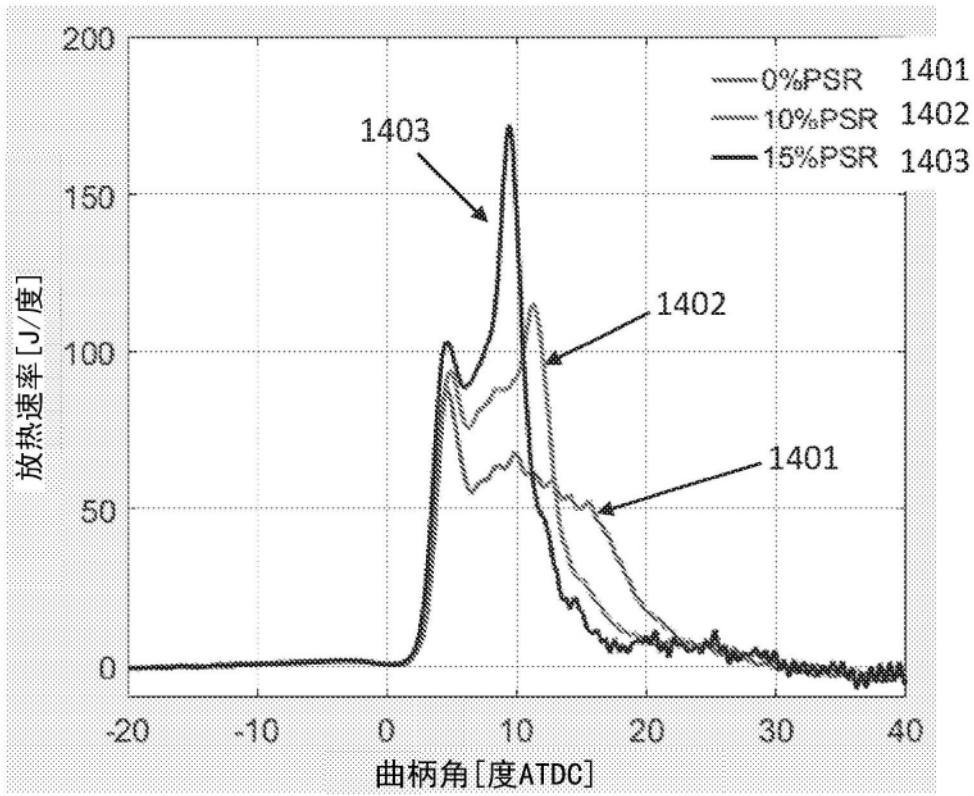


图14

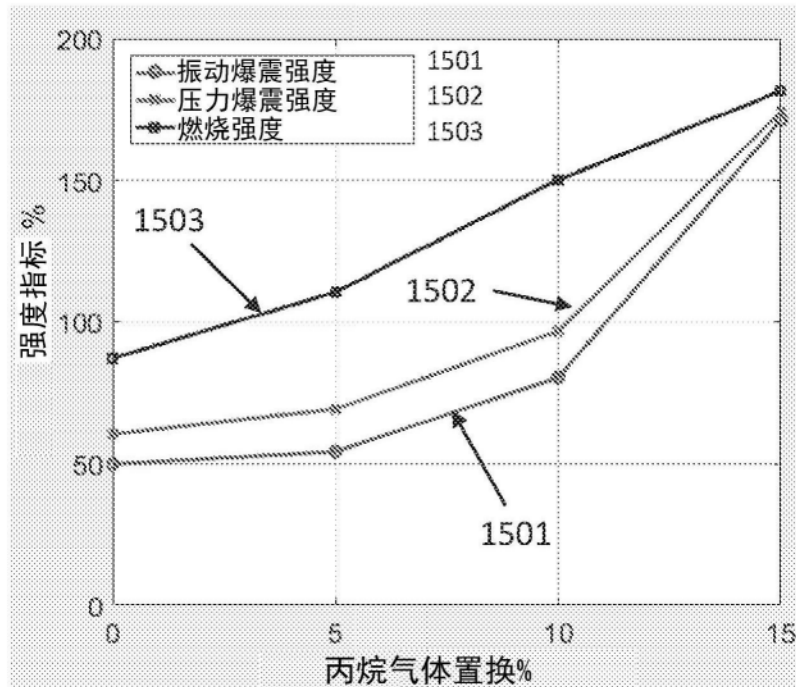


图15

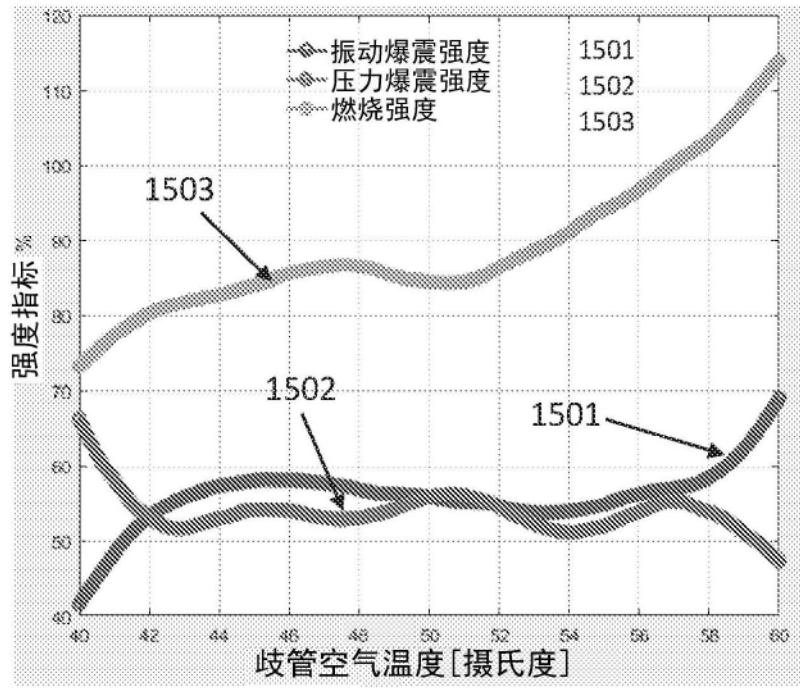


图16

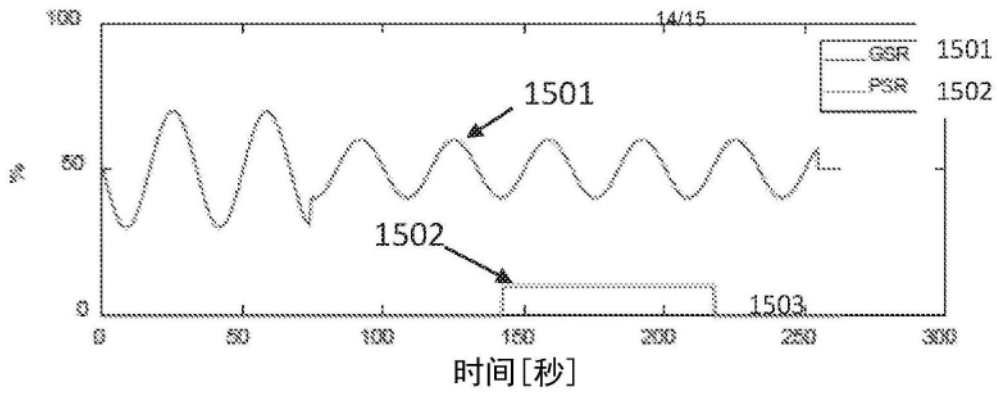


图17A

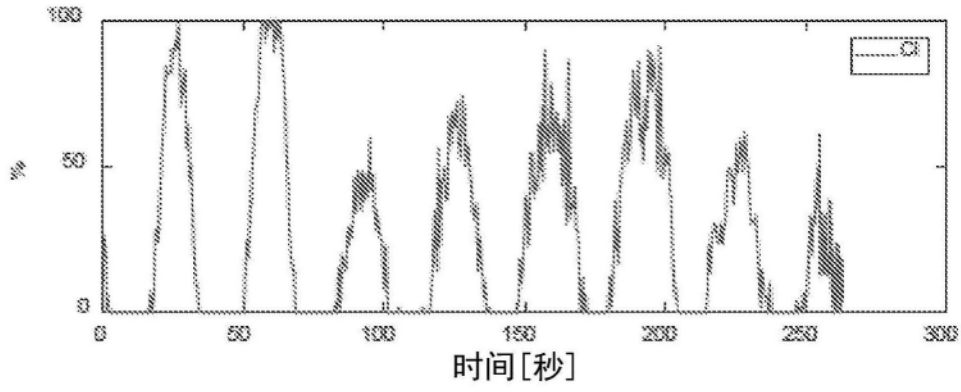


图17B

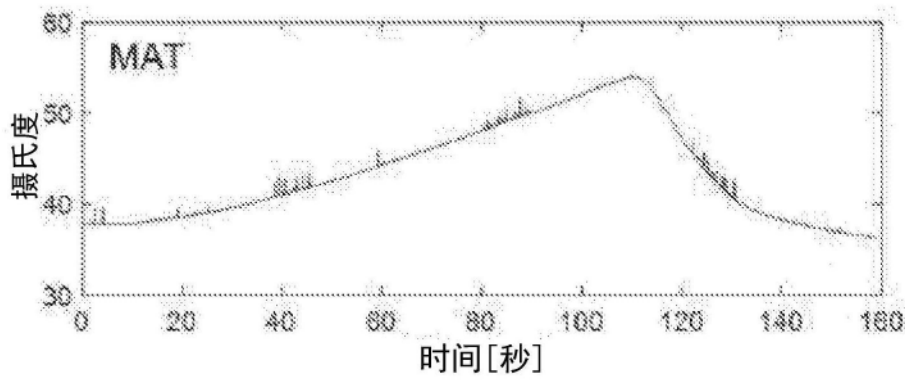


图18A

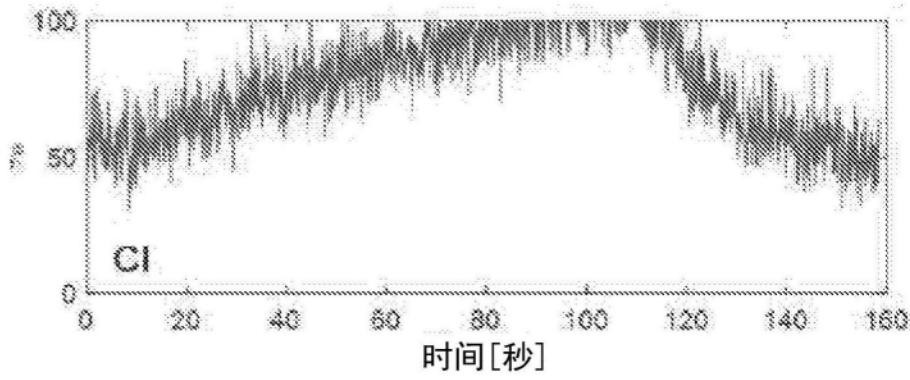


图18B

1900

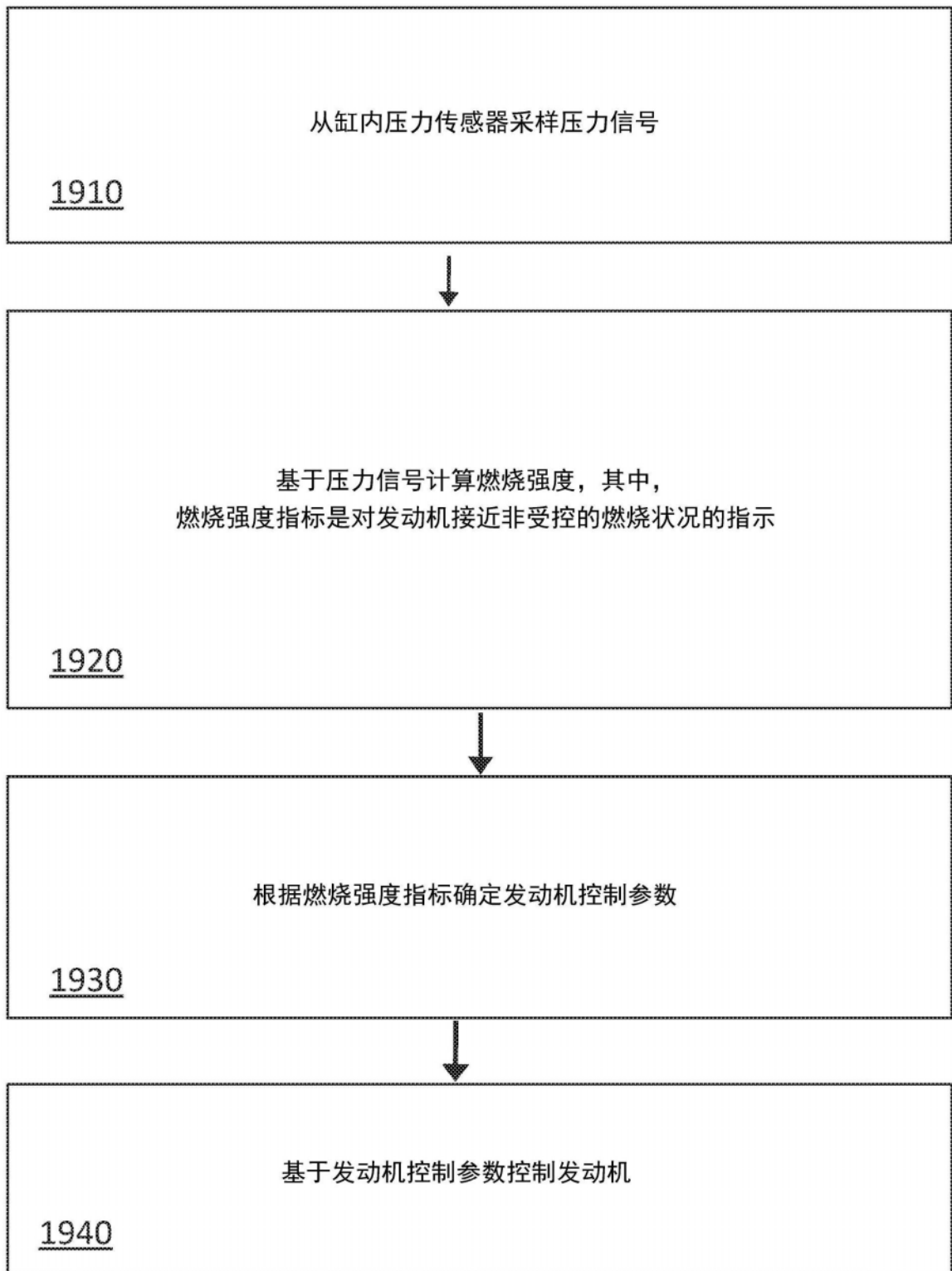


图19