



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103670753 A

(43) 申请公布日 2014. 03. 26

(21) 申请号 201310356611. 5

(22) 申请日 2013. 08. 15

(30) 优先权数据

2012-197397 2012. 09. 07 JP

(71) 申请人 马自达汽车株式会社

地址 日本广岛县

(72) 发明人 岩井浩平 田贺淳一

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

代理人 夏斌 陈萍

(51) Int. Cl.

F02D 41/30(2006. 01)

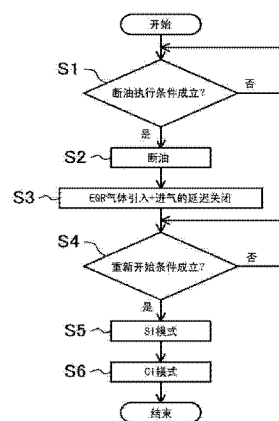
权利要求书1页 说明书16页 附图11页

(54) 发明名称

火花点火式直喷发动机

(57) 摘要

一种火花点火式直喷发动机。抑制由断油导致的催化剂的温度降低。发动机 (1) 具备进气门 (21)、排气门 (22)、喷射器 (67) 及 PCM(10)。PCM(10) 构成为,在油门踏板未被踩下的状态下的发动机 (1) 的减速时,停止燃料喷射而执行断油,在发动机转速降低到规定值时重新开始燃料喷射,在断油中,在进气行程中在使排气门 (22) 开启之后使进气门 (21) 开启,在使排气门 (22) 关闭之后、混合气向进气口 (16) 吹回的正时,使进气门 (21) 关闭。



1. 一种火花点火式直喷发动机,具备:

发动机主体,具有气缸;

进气门,对向上述气缸开口的进气口进行开闭;

排气门,对向上述气缸开口的排气口进行开闭;

燃料喷射阀,构成为向上述气缸内喷射燃料;

催化剂,设置在排气通路上;以及

控制器,构成为至少控制上述进气门、上述排气门及上述燃料喷射阀,由此使上述发动机主体运转,

上述控制器构成为,

在油门踏板未被踩下的状态下的上述发动机主体的减速时,停止从上述燃料喷射阀的燃料喷射而执行断油,在该发动机主体的转速降低到规定值时,使该燃料喷射阀的燃料喷射重新开始,

在上述断油中,在进气行程中在使上述排气门开启之后,使上述进气门开启,在使该排气门关闭之后、混合气向进气口吹回的正时,使该进气门关闭。

2. 如权利要求1所述的火花点火式直喷发动机,其中,

上述控制器构成为,至少在上述发动机主体的运转状态处于规定的低负载区域时,进行使上述气缸内的混合气通过自燃来燃烧的压缩着火燃烧而使上述发动机主体运转。

3. 如权利要求1所述的火花点火式直喷发动机,其中,

上述控制器构成为,至少在上述发动机主体的运转状态处于规定的高负载区域时,将空气过剩率设定为1以下而使该发动机主体运转。

4. 如权利要求1所述的火花点火式直喷发动机,其中,

上述控制器为,在使上述燃料喷射重新开始时,使上述进气门的关闭时期提前。

5. 如权利要求1~4中任一项所述的火花点火式直喷发动机,其中,

进一步具备在减速时对动能进行再生的减速再生系统。

火花点火式直喷发动机

技术领域

[0001] 本发明公开的技术涉及一种火花点火式直喷发动机。

背景技术

[0002] 例如,如专利文献 1 所示,作为兼顾排气排放性能的提高与热效率的的技术,已知使气缸内的混合气压缩着火的燃烧方式。在该压缩着火燃烧中,为了提高着火性及稳定性,需要预先将气缸内的温度提高某种程度。

[0003] 然而,在减速时进行断油的发动机中,在断油中气缸内的温度降低,在重新开始燃料供给时,有时气缸内温度降低到难以进行压缩着火的程度。

[0004] 因此,在专利文献 1 的发动机中,在从断油恢复时,在执行火花点火燃烧而使气缸内的温度上升之后,转移至压缩着火燃烧。

[0005] 专利文献 1:日本特开 2004-316544 号公报

[0006] 然而,由断油导致的气缸内的温度降低,从催化剂的活化的观点出发也是不优选的。

[0007] 但是,上述专利文献 1 的发动机的方法,虽然在从断油恢复时能够使气缸内的温度快速上升,但是由于断油而气缸内的温度暂时降低。结果,催化剂的温度也会暂时降低。

发明内容

[0008] 本发明公开的技术是鉴于所述情况而进行的,其目的在于抑制由断油导致的催化剂的温度降低。

[0009] 本发明公开的技术为,一种火花点火式直喷发动机,具备:发动机主体,具有气缸;进气门,对向上述气缸开口的进气口进行开闭;排气门,对向上述气缸开口的排气口进行开闭;燃料喷射阀,构成为向上述气缸内喷射燃料;催化剂,设置在排气通路上;以及控制器,构成为至少控制上述进气门、上述排气门及上述燃料喷射阀,由此使上述发动机主体运转,在该火花点火式直喷发动机中,上述控制器构成为,在油门踏板未被踩下的状态下的上述发动机主体的减速时,停止从上述燃料喷射阀的燃料喷射而执行断油,在该发动机主体的转速降低到规定值时,使该燃料喷射阀的燃料喷射重新开始,在上述断油中,在进气行程中在使上述排气门开启之后,使上述进气门开启,在使该排气门关闭之后、混合气向进气口吹回的正时,使该进气门关闭。

[0010] 根据该构成,在油门踏板未被踩下的状态下的发动机主体的减速时,执行断油,当发动机转速降低到规定值时重新开始燃料喷射。而且,在断油中,进气门在排气门之后开启、并且在排气门之后关闭,因此新气向气缸内的吸入量降低,并且气缸内的气体的一部分向进气口吹回。如此,能够降低在气缸内封闭的新气量。由此,能够降低在其后的排气行程中向排气口排气的新的气量,能够降低到达催化剂的新气量。结果,能够抑制断油中的催化剂的温度降低。

[0011] 进一步,在断油中,除了上述的进气的延迟关闭以外,还进行基于排气的二次开启

的内部 EGR。由于在断油中不进行燃烧,因此气缸内的温度存在降低的倾向,但能够通过向气缸内导入废气来抑制断油紧后的气缸内的温度降低。结果,向排气口排气的混合气含有 EGR 气体,因此与仅为新气的情况相比成为高温。该情况对于抑制催化剂的温度降低也是有效的。此外,在排气的二次开启时,在进气行程中与进气门相比使排气门先开启,由此在进气行程中能够向气缸内先导入废气,结果,能够向气缸内导入更多的废气。

[0012] 进一步,使含有废气的混合气向进气口吹回,因此在进气行程中从进气口向气缸内导入的气体也含有废气。该气体与仅为新气的情况相比成为高温。该情况对于抑制催化剂的温度降低也是有效的。

[0013] 此外,如上述那样,通过 EGR 及进气的延迟关闭来抑制断油中的气缸内的温度降低,有利于使燃料喷射重新开始时的着火性提高。

[0014] 此外,上述控制器也可以构成为,至少在上述发动机主体的运转状态处于规定的低负载区域时,进行使上述气缸内的混合气通过自燃来燃烧的压缩着火燃烧而使上述发动机主体运转。此处,“低负载区域”可以是将运转区域区分为低负载、中负载及高负载这三个区域的情况下的低负载区域。

[0015] 当执行上述断油时,发动机负载急速地降低。因此,在燃料喷射重新开始时,通常,发动机的运转状态处于上述规定的低负载区域。即,在断油后的恢复时,发动机的运转状态处于上述规定的低负载区域的情况较多。而且,在该低负载区域中进行压缩着火燃烧。从适当地进行压缩着火燃烧的观点出发,气缸内的温度较低的情况是不优选的,而需要抑制断油中的气缸内的温度降低。根据上述构成,通过 EGR 及进气的延迟关闭来抑制断油中的气缸内的温度降低。即,EGR 及进气的延迟关闭不仅能够抑制催化剂的温度降低,从压缩着火燃烧的着火性的观点出发也是有利的。

[0016] 进一步,上述控制器也可以构成为,至少在上述发动机主体的运转状态处于规定的高负载区域时,将空气过剩率设定为 1 以下而使该发动机主体运转。此处,“高负载区域”可以是将运转区域区分为低负载、中负载及高负载这三个区域的情况下的低负载区域。

[0017] 根据该构成,在规定的高负载区域中将空气过剩率设定为 1 以下,因此燃烧气体温度变高。因此,在从发动机主体的运转状态处于上述规定的高负载区域的状态开始执行断油时,已燃气体的温度较高,因此如上述那样,对抑制气缸内的温度降低有效。

[0018] 此外,上述控制器也可以为,在使上述燃料喷射重新开始时,使上述进气门的关闭时期提前。

[0019] 如上述那样,由于进行进气的延迟关闭,因此气缸内的新气量减少。所以,在重新开始燃烧时,通过使进气门的关闭时期提前,由此能够确保新气量。

[0020] 此外,火花点火式直喷发动机也可以进一步具备在减速时对动能进行再生的减速再生系统。

[0021] 根据该构成,在断油中如上述那样执行进气的延迟关闭,因此泵损失降低。结果,能够通过减速再生系统再生更多的动能。另外,从对更多的动能进行再生这一点出发,在断油中,除了进气的延迟关闭以外,优选使节气门全开。

[0022] 发明的效果

[0023] 根据上述火花点火式直喷发动机,在断油中进行基于排气的二次开启的内部 EGR 和进气的延迟关闭,由此能够抑制催化剂的温度降低,并且能够使压缩着火燃烧的着火性

和稳定性提高。

附图说明

[0024] 图 1 是表示火花点火式直喷发动机的构成的概略图。

[0025] 图 2 是火花点火式直喷发动机的控制的框图。

[0026] 图 3 是放大表示燃烧室的剖视图。

[0027] 图 4 是例示发动机的运转区域的图。

[0028] 图 5 中, (a) 是在 CI 模式下进行进气行程喷射的情况下的燃料喷射时期的一例、和伴随其的 CI 燃烧的热释放率的例示, (b) 是在 CI 模式下进行高压延迟喷射的情况下的燃料喷射时期的一例、和伴随其的 CI 燃烧的热释放率的例示, (c) 是在 SI 模式下进行高压延迟喷射的情况下的燃料喷射时期及点火时期的一例、和伴随其的 SI 燃烧的热释放率的例示, (d) 是在 SI 模式下进行进气行程喷射和高压延迟喷射的分段喷射的情况下的燃料喷射时期及点火时期的一例、和伴随其的 SI 燃烧的热释放率的例示。

[0029] 图 6 是对基于高压延迟喷射的 SI 燃烧的状态与以往的 SI 燃烧的状态进行比较的图。

[0030] 图 7 是表示减速时断油的处理的流程图。

[0031] 图 8 是表示断油前的发动机的各要素的状态的图, (A) 表示燃料喷射正时及缸内的压力变化、以及进行火花点火的情况下的火花点火正时, (B) 表示进气门的升程量 (虚线) 及排气门的升程量 (实线), (C) 表示节气门的开度, (D) 表示气缸内的成分。

[0032] 图 9 是表示断油中的发动机的各要素的状态的图, (A) 表示燃料喷射正时及缸内的压力变化、以及进行火花点火的情况下的火花点火正时, (B) 表示进气门的升程量 (虚线) 及排气门的升程量 (实线), (C) 表示节气门的开度, (D) 表示气缸内的成分。

[0033] 图 10 是表示燃料喷射重新开始时的发动机的各要素的状态的图, (A) 表示燃料喷射正时及缸内的压力变化、以及进行火花点火的情况下的火花点火正时, (B) 表示进气门的升程量 (虚线) 及排气门的升程量 (实线), (C) 表示节气门的开度, (D) 表示气缸内的成分。

[0034] 图 11 是表示转移至 CI 模式后的发动机的各要素的状态的图, (A) 表示燃料喷射正时及缸内的压力变化、以及进行火花点火的情况下的火花点火正时, (B) 表示进气门的升程量 (虚线) 及排气门的升程量 (实线), (C) 表示节气门的开度, (D) 表示气缸内的成分。

[0035] 符号的说明

[0036] 1 发动机 (发动机主体)

[0037] 10 PCM (控制器)

[0038] 16 进气口

[0039] 17 排气口

[0040] 18 气缸

[0041] 21 进气门

[0042] 22 排气门

[0043] 40 排气通路

[0044] 41 直接催化剂 (催化剂)

- [0045] 42 下级催化剂（催化剂）
[0046] 67 喷射器（燃料喷射阀）
[0047] 80 减速再生系统

具体实施方式

[0048] 以下,根据附图来说明火花点火式直喷发动机的实施方式。以下的优选实施方式的说明为例示。图1、图2表示发动机(发动机主体)1的概略构成。该发动机1是搭载在车辆上、并且被供给至少含有汽油的燃料的火花点火式汽油发动机。发动机1具有:设置有多个气缸18的气缸体11(另外,在图1中仅图示一个气缸,但例如直列地设置有四个气缸);配设在该气缸体11上的气缸盖12;以及配设在气缸体11的下侧、存积有润滑油的油底壳13。在各气缸18内,能够往复运动地嵌插有经由连杆142与曲轴15连结的活塞14。在活塞14的顶面上,如在图3中放大表示的那样,形成有柴油发动机中的凹型那样的腔141。在活塞14位于压缩上止点附近时,腔141与后述的喷射器67相对。气缸盖12、气缸18及具有腔141的活塞14划分出燃烧室19。另外,燃烧室19的形状并不限于图示的形状。例如,腔141的形状、活塞14的顶面形状及燃烧室19的顶棚部的形状等能够适宜地变更。

[0049] 该发动机1为,以理论热效率的提高、后述的压缩着火燃烧的安定化等为目的,而设定为15以上的比较高的几何压缩比。另外,几何压缩比在15以上20以下程度的范围内适宜地设定即可。

[0050] 在气缸盖12上,按照每个气缸18形成有进气口16及排气口17,并且在这些进气口16及排气口17分别配设有对燃烧室19侧的开口进行开闭的进气门21及排气门22。

[0051] 在分别驱动进气门21及排气门22的气门传动系统内,在排气侧设置有将排气门22的动作模式切换为通常模式和特殊模式的、例如液压动作式的可变机构(参照图2。以下称为VVL(Variable Valve Lift:可变气门升程))71。虽然省略其构成的详细图示,但VVL71构成为,包括:具有一个凸轮尖的第一凸轮和具有两个凸轮尖的第二凸轮这两种凸轮轮廓不同的凸轮;以及将该第一及第二凸轮中任一凸轮的动作状态选择性地向排气门22传递的空动机构。在将第一凸轮的动作状态向排气门22传递时,排气门22以在排气行程中仅开启一次的通常模式进行动作,相对于此,在将第二凸轮的动作状态向排气门22传递时,排气门22以进行在排气行程中开启并且在进气行程中也开启那样的、所谓排气的二次开启的特殊模式进行动作。VVL71的通常模式和特殊模式根据发动机的运转状态来切换。具体地,特殊模式在内部EGR的控制时被利用。即,排气门22及VVL71构成排气回流机构之一、例如第一排气回流机构。此外,VVL71构成气门传动机构。

[0052] 在以下的说明中,有时将使VVL71以通常模式动作、不进行排气二次开启的情况称为“将VVL71关闭”,将使VVL71以特殊模式动作、进行排气二次开启的情况称为“将VVL71开启”。另外,也可以采用不仅能够进行这种通常模式与特殊模式的切换、还通过电磁促动器来驱动排气门22的电磁驱动式的气门传动系统。此外,内部EGR的执行并非仅通过排气二次开启来实现。例如也可以通过将进气门21开启两次的、进气的二次开启来进行内部EGR控制,还可以进行在排气行程至进气行程中设置将进气门21及排气门22双方关闭的负重叠(negative overlap)期间而使已燃气体残留在气缸18内的内部EGR控制。

[0053] 相对于具备VVL71的排气侧的气门传动系统,如图2所示,在进气侧设置有:能

够变更进气凸轮轴相对于曲轴 15 的旋转相位的相位可变机构（以下称为 VVT(Variable Valve Timing:可变气门正时)）72；以及能够连续地变更进气门 21 的升程量的升程量可变机构（以下称为 CVVL(Continuously Variable Valve Lift:连续可变气门升程)）73。VVT72 适宜地采用液压式、电磁式或机械式的公知构造即可，省略关于其详细构造的图示。此外，CVVL73 也能够适宜地采用公知的各种构造，省略关于其详细构造的图示。通过 VVT72 及 CVVL73，进气门 21 能够分别变更其开启正时及关闭正时、以及升程量。

[0054] 在气缸盖 12 上，还按照每个气缸 18 安装有向气缸 18 内直接喷射燃料的喷射器 67。如在图 3 中放大表示的那样，喷射器 67 被配设为，其喷口从燃烧室 19 的顶棚面的中央部分面向该燃烧室 19 内。喷射器 67 以根据发动机 1 的运转状态而设定的喷射正时、且将与发动机 1 的运转状态相对应的量的燃料向燃烧室 19 内直接喷射。在该例中，虽然省略详细的图示，但喷射器 67 为具有多个喷口的多喷口型的喷射器。由此，喷射器 67 以燃料喷雾从燃烧室 19 的中心位置放射状地扩散的方式喷射燃料。喷射器 67 构成燃料喷射阀。

[0055] 如在图 3 中用箭头表示的那样，在活塞 14 位于压缩上止点附近的正时、以从燃烧室 19 的中央部分放射状地扩散的方式喷射的燃料喷雾，沿着活塞顶面上所形成的腔 141 的壁面流动。换言之，腔 141 形成为，将在活塞 14 位于压缩上止点附近的正时所喷射的燃料喷雾收纳在其内部。该多喷口型的喷射器 67 与腔 141 的组合，是在燃料的喷射后缩短混合气形成期间、并且缩短燃烧期间的方面有利的构成。另外，喷射器 67 并不限定于多喷口型的喷射器，也可以采用向外打开式的喷射器。

[0056] 未图示的燃料箱与喷射器 67 之间通过燃料供给路径相互连结。在该燃料供给路径上设置有燃料供给系统 62，该燃料供给系统 62 包括燃料泵 63 和共轨 64，且能够以比较高的燃料压力向喷射器 67 供给燃料。燃料泵 63 从燃料箱向共轨 64 压送燃料，共轨 64 能够以比较高的燃料压力来蓄积压送来的燃料。通过喷射器 67 开启，由此从喷射器 67 的喷口喷射共轨 64 中所蓄积的燃料。此处，虽然省略图示，但燃料泵 63 为柱塞式的泵，并由发动机 1 驱动。包括该发动机驱动的泵的构成的燃料供给系统 62，能够向喷射器 67 供给 30MPa 以上的较高的燃料压力的燃料。燃料压力最大也可以设定为 120MPa 程度。向喷射器 67 供给的燃料的压力，如后述那样，能够根据发动机 1 的运转状态来变更。另外，燃料供给系统 62 并不限定于该构成。

[0057] 如图 3 所示，在气缸盖 12 上还安装有对燃烧室 19 内的混合气进行点火的火花塞 25。在该例中，火花塞 25 被配置为，以从发动机 1 的排气侧向斜下方延伸的方式贯通到气缸盖 12 内。如图 3 所示，火花塞 25 的前端面向位于压缩上止点的活塞 14 的腔 141 内地配置。

[0058] 如图 1 所示，在发动机 1 的一个侧面上，以与各气缸 18 的进气口 16 连通的方式连接有进气通路 30。另一方面，在发动机 1 的另一个侧面上，连接有将来自各气缸 18 的燃烧室 19 的已燃气体（废气）排出的排气通路 40。

[0059] 在进气通路 30 的上游端部配设有对吸入空气进行过滤的空气滤清器 31。此外，在进气通路 30 的下游端附近配设有稳压箱 33。比该稳压箱 33 更靠下游侧的进气通路 30，成为向各气缸 18 的每个分支的独立通路，这些各独立通路的下游端分别与各气缸 18 的进气口 16 连接。

[0060] 在进气通路 30 上的空气滤清器 31 与稳压箱 33 之间，配设有对空气进行冷却或加

热的水冷式的中冷器 / 加热器 34、以及对向各气缸 18 的吸入空气量进行调节的节气门 36。在进气通路 30 上还连接有对中冷器 / 加热器 34 进行旁通的中冷器 / 加热器旁通通路 35, 在该中冷器 / 加热器旁通通路 35 上配设有用于对在该通路 35 中通过的空气流量进行调整的中冷器 / 加热器旁通阀 351。通过中冷器 / 加热器旁通阀 351 的开度调整, 对中冷器 / 加热器旁通通路 35 的通过流量与中冷器 / 加热器 34 的通过流量的比例进行调整, 由此能够对向气缸 18 导入的新气的温度进行调整。

[0061] 排气通路 40 上游侧的部分由排气歧管构成, 该排气歧管具有向各气缸 18 的每个分支而与排气口 17 的外侧端连接的独立通路以及该各独立通路进行集合的集合部。在该排气通路 40 上的比排气歧管更靠下游侧, 作为对废气中的有害成分进行净化的排气净化装置, 分别连接有直接催化剂 41 和下级 (underfoot) 催化剂 42。直接催化剂 41 及下级催化剂 42 分别构成, 具备筒状壳体 and 配置在该壳体内部的流路上的例如三元催化剂。直接催化剂 41 及下级催化剂 42 构成催化剂

[0062] 进气通路 30 上的稳压箱 33 与节气门 36 之间的部分、和排气通路 40 上的比直接催化剂 41 更靠上游侧的部分, 经由用于使废气的一部分 (EGR 气体) 回流到进气通路 30 中的 EGR 通路 50 连接。该 EGR 通路 50 构成, 包括: 主通路 51, 配设有用于通过发动机冷却水来冷却废气的 EGR 冷却器 52; 以及用于对 EGR 冷却器 52 进行旁通的 EGR 冷却器旁通通路 53。在主通路 51 上配设有用于对废气向进气通路 30 的回流量进行调整的 EGR 阀 511, 在 EGR 冷却器旁通通路 53 上配设有用于对在 EGR 冷却器旁通通路 53 中流通的废气的流量进行调整的 EGR 冷却器旁通阀 531。这些 EGR 通路 50、主通路 51、EGR 阀 511、EGR 冷却器 52、EGR 冷却器旁通通路 53 及 EGR 冷却器旁通阀 531 构成排气回流机构之一、例如第二排气回流机构。

[0063] 此外, 发动机 1 具备减速再生系统 80。减速再生系统 80 具有由发动机 1 驱动而进行发电的发电机 (交流发电机) 81、以及与发电机 81 连接的蓄电池 82。该发电机 81 在发动机 1 的运转中, 经由带由发动机 1 的曲轴旋转驱动。其中, 发电机 81 构成, 能够切换由发动机 1 驱动而进行发电的发电状态、和即使由发动机 1 驱动也不进行发电的非发电状态。发电机 81 的发电电力被蓄电池 82 蓄电、或被供给到车辆电负载 (图示省略)。另外, 也可以取代蓄电池 82 而使用电容器等蓄电装置。

[0064] 如此构成的发动机 1 由动力系统控制模块 (以下称为 PCM) 10 控制。PCM10 由具有 CPU、存储器、计数计时器 (counter timer) 组、接口及连接这些单元的总线的微处理器构成。该 PCM10 构成控制器。

[0065] 如图 1、2 所示, 向 PCM10 输入各种传感器 SW1 ~ SW16 的检测信号。该各种传感器包括如下的传感器。即, 在空气滤清器 31 的下游侧检测新气的流量的空气流量传感器 SW1 及检测新气的温度的进气温度传感器 SW2、配置在中冷器 / 加热器 34 的下游侧且检测通过了中冷器 / 加热器 34 后的新气的温度的第二进气温度传感器 SW3、配置在 EGR 通路 50 上的与进气通路 30 的连接部附近且检测外部 EGR 气体的温度的 EGR 气体温度传感器 SW4、安装在进气口 16 且检测向气缸 18 内流入紧前的进气的温度的进气口温度传感器 SW5、安装在气缸盖 12 上且检测气缸 18 内的压力的缸内压力传感器 SW6、配置在排气通路 40 上的与 EGR 通路 50 的连接部附近且分别检测排气温度及排气压力的排气温度传感器 SW7 及排气压力传感器 SW8、配置在直接催化剂 41 的上游侧且检测排气中的氧浓度的线性 O₂ 传感器 SW9、

配置在直接催化剂 41 与下级催化剂 42 之间且检测排气中的氧浓度的 λO_2 传感器 SW10、检测发动机冷却水的温度的水温传感器 SW11、检测曲轴 15 的旋转角的曲轴转角传感器 SW12、检测与车辆的油门踏板（图示省略）的操作量相对应的油门开度的油门开度传感器 SW13、进气侧及排气侧的凸轮转角传感器 SW14、SW15、以及安装在燃料供给系统 62 的共轨 64 上且检测向喷射器 67 供给的燃料压力的燃料压力传感器 SW16。

[0066] PCM10 通过根据这些检测信号来进行各种运算，由此判定发动机 1、车辆的状态，并与其对应地向喷射器 67、火花塞 25、进气门侧的 VVT72 及 CVVL73、排气门侧的 VVL71、燃料供给系统 62、发电机 81 以及各种阀（节气门 36、中冷器 / 加热器旁通阀 351、EGR 阀 511 及 EGR 冷却器旁通阀 531）的促动器输出控制信号。如此，PCM10 使发动机 1 运转。

[0067] 图 4 表示发动机 1 的运转区域的一例。该发动机 1 以燃料消耗率的提高、排气排放性能的提高为目的，在发动机负载相对低的低负载区域，不进行基于火花塞 25 的点火，而进行通过压缩自燃来进行燃烧的压缩着火燃烧。但是，随着发动机 1 的负载变高，在压缩着火燃烧中，燃烧会变得过于剧烈，例如会产生燃烧噪声等问题。因此，在该发动机 1 中，在发动机负载相对高的高负载区域，停止压缩着火燃烧，而切换到利用火花塞 25 的火花点火燃烧。如此，该发动机 1 构成为，根据发动机 1 的运转状态、尤其是发动机 1 的负载，切换进行压缩着火燃烧的 CI (Compression Ignition) 模式、和进行火花点火燃烧的 SI (Spark Ignition) 模式。但是，模式切换的界线并不限定于图例。

[0068] CI 模式进一步根据发动机负载的高低而被分为三个区域。具体地，在 CI 模式下，在负载最低的区域 (1) 中，为了提高压缩着火燃烧的着火性及稳定性，而将温度相对高的 EGR 气体（以下还称为热 EGR 气体）导入气缸 18 内。这通过将 VVL71 开启、而进行将排气门 22 在进气行程中开启的排气的二次开启来实现。热 EGR 气体的导入会提高气缸 18 内的压缩上止点温度，在轻负载的区域 (1) 中，有利于提高压缩着火燃烧的着火性及稳定性。此外，如图 5(a) 所示，在区域 (1) 中，至少在从进气行程到压缩行程中期的期间内，喷射器 67 向气缸 18 内喷射燃料，由此形成均匀的稀混合气。混合气的空气过剩率 λ 例如也可以设定为 2.4 以上，由此能够抑制 Raw NOx 的生成，能够提高排气排放性能。如此，如图 5(a) 所示，该稀混合气在压缩上止点附近压缩自燃。

[0069] 虽然详细将后述，但在区域 (1) 中的负载较高的区域、具体地是包括区域 (1) 与区域 (2) 的边界的区域中，至少在从进气行程到压缩行程中期的期间内，向气缸 18 内喷射燃料，但将混合气的空燃比设定为理论空燃比 ($\lambda \approx 1$)。通过成为理论空燃比，由此变得能够利用三元催化剂，并且 SI 模式与 CI 模式之间的切换时的控制简化，并且还有助于使 CI 模式向高负载侧扩大。

[0070] 在 CI 模式下，在与区域 (1) 相比负载高的区域 (2) 中，与区域 (1) 的高负载侧同样地，至少在从进气行程到压缩行程中期的期间内，向气缸 18 内喷射燃料（参照图 5(a)），形成均匀的理论空燃比 ($\lambda \approx 1$) 的混合气。

[0071] 在区域 (2) 中，随着发动机负载的上升，气缸 18 内的温度自然地提高，因此为了避免提前着火而使热 EGR 气体量降低。这通过对向气缸 18 内导入的内部 EGR 气体量进行调整来实现。

[0072] 在区域 (2) 中，进一步将温度相对低的 EGR 气体（以下还称为冷 EGR 气体）向气缸 18 内导入。如此，通过将高温的热 EGR 气体和低温的冷 EGR 气体以适宜的比例向气缸 18

内导入,由此使气缸 18 内的压缩上止点温度适当,在确保压缩着火的着火性的同时还避免急剧的燃烧,从而实现压缩着火燃烧的安定化。另外,将热 EGR 气体及冷 EGR 气体合计的、向气缸 18 内导入的 EGR 气体的比例、即 EGR 率为,在将混合气的空气过剩率设定为 $\lambda \approx 1$ 的条件下,被设定为尽可能高的 EGR 率。因此,在区域 (2) 中,随着发动机负载的增大、而燃料喷射量增大,因此 EGR 率会逐渐降低。

[0073] 在包括 CI 模式与 SI 模式的切换界线的、CI 模式下负载最高的区域 (3) 中,气缸 18 内的压缩上止点温度进一步变高,因此如区域 (1)、区域 (2) 那样,当在从进气行程到压缩行程中期的期间内向气缸 18 内喷射燃料时,会产生提前着火等异常燃烧。另一方面,当大量导入温度较低的冷 EGR 气体而要使气缸内的压缩上止点温度降低时,这次压缩着火的着火性会恶化。即,仅通过气缸 18 内的温度控制,不能够稳定地进行压缩着火燃烧,因此在该区域 (3) 中,除了气缸 18 内的温度控制,还对燃料喷射方式进行研究,由此在避免提前着火等异常燃烧的同时实现压缩着火燃烧的安定化。具体地,该燃料喷射方式为,与以往相比大幅度地高压化了的燃料压力,如图 5(b) 所示那样,至少在从压缩行程后期到膨胀行程初期的期间(以下将该期间称为延迟期间)内,向气缸 18 内执行燃料喷射。以下,将该特征性的燃料喷射方式称为“高压延迟喷射”或简称为“延迟喷射”。通过这种高压延迟喷射,能够在避免区域 (3) 中的异常燃烧的同时实现压缩着火燃烧的安定化。关于该高压延迟喷射的详细将后述。

[0074] 在区域 (3) 中,与区域 (2) 同样地,以适宜的比例将高温的热 EGR 气体和低温的冷 EGR 气体向气缸 18 内导入。由此,使气缸 18 内的压缩上止点温度适当而实现压缩着火燃烧的安定化。

[0075] 相对于根据发动机负载的高低而被分为三个区域的 CI 模式,SI 模式根据发动机转速的高低而被分为区域 (4) 和区域 (5) 这两个区域。在图例中,区域 (4) 相当于将发动机 1 的运转区域区分为低速、高速这两个时的低速区域,区域 (5) 相当于高速区域。区域 (4) 与区域 (5) 的边界为,在图 4 所示的运转区域中,相对于负载的高低向转速方向倾斜,但区域 (4) 与区域 (5) 的边界并非限定于图例。

[0076] 在区域 (4) 及区域 (5) 的各自中,混合气与区域 (2) 及区域 (3) 同等地被设定为理论空燃比 ($\lambda \approx 1$ 或 $\lambda \leq 1$)。因此,混合气的空燃比跨越 CI 模式与 SI 模式的边界而成为理论空燃比 ($\lambda \approx 1$ 或 $\lambda \leq 1$)、成为一定。在该情况下,能够利用三元催化剂。此外,在区域 (4) 及区域 (5) 中,基本上使节气门 36 全开,而通过 EGR 阀 511 的开度调整,来调整向气缸 18 内导入的新气量及外部 EGR 气体量。如此调整向气缸 18 内导入的气体比例,能够实现泵损失的降低,并且通过将大量的 EGR 气体向气缸 18 内导入,能够将火花点火燃烧的燃烧温度抑制得较低,还能够实现冷却损失的降低。在区域 (4) 及区域 (5) 中,主要将通过 EGR 冷却器 52 冷却了的外部 EGR 气体向气缸 18 导入。由此,还存在有利于避免异常燃烧、并且抑制 Raw NOx 的生成这种优点。EGR 阀 511 的开度及 EGR 冷却器旁通阀 531 的开度,随着发动机负载的增大而减少。此时,EGR 阀 511 的开度与 EGR 冷却器旁通阀 531 的开度相比相对大,即,冷 EGR 气体比热 EGR 气体多。而且,随着发动机负载的增大,EGR 冷却器旁通阀 531 与 EGR 阀 511 相比先成为全闭状态。另外,在全开负载区域中,通过将 EGR 阀 511 关闭,而使外部 EGR 为零。

[0077] 如上述那样,该发动机 1 的几何压缩比被设定为 15 以上(例如 18)。较高的压缩

比会提高压缩上止点温度及压缩上止点压力,因此在 CI 模式的、尤其是低负载的区域(例如区域(1))中,有利于压缩着火燃烧的安定化。另一方面,该高压压缩比发动机 1 具有在高负载区域的 SI 模式下,容易产生提前着火、爆震这种异常燃烧的问题。

[0078] 所以,在该发动机 1 中,在 SI 模式的区域(4)、区域(5)中,通过进行上述的高压延迟喷射,来避免异常燃烧。更详细地,在区域(4)中,如图 5(c)所示,以 30MPa 以上的高燃料压力,在从压缩行程后期到膨胀行程初期的延迟期间内,仅进行对气缸 18 内执行燃料喷射的高压延迟喷射。相对于此,在区域(5)中,如图 5(d)所示,将喷射的燃料的一部分、在进气门 21 开启的进气行程期间内向气缸 18 内喷射,并且将剩余的燃料在延迟期间内向气缸 18 内喷射。即,在区域(5)中,进行燃料的分段喷射。此处,进气门 21 开启的进气行程期间,并不是根据活塞位置来定义的期间,而是根据进气门的开闭来定义的期间,此处所说的进气行程,有时根据由 VVT72、CVVL73 变更的进气门 21 的关闭时期,而相对于活塞到达进气下止点的时刻偏离。

[0079] 接着,参照图 6 对 SI 模式下的高压延迟喷射进行说明。图 6 是比较基于上述的高压延迟喷射的 SI 燃烧(实线)与在进气行程中执行燃料喷射的以往的 SI 燃烧(虚线)的、热释放率(上图)及未燃混合气反应进行度(下图)的不同的图。图 6 的横轴为曲轴转角。作为该比较的前提,发动机 1 的运转状态均为高负载的低速区域(即区域(4)),喷射的燃料量在基于高压延迟喷射的 SI 燃烧与以往的 SI 燃烧的情况下彼此相同。

[0080] 首先,在以往的 SI 燃烧中,在进气行程中向气缸 18 内执行规定量的燃料喷射(上图的虚线)。在气缸 18 内,在该燃料的喷射后、到活塞 14 到达压缩上止点的期间,形成比较均匀的混合气。而且,在该例中,在压缩上止点以后的、由白圆圈表示的规定正时执行点火,由此燃烧开始。在燃烧的开始后,如在图 6 的上图中由虚线所示那样,经过热释放率的峰值而燃烧结束。从燃料喷射的开始到燃烧结束为止的期间相当于未燃混合气的能够反应时间(以下有时简称为能够反应时间),如在图 6 的下图中由虚线所示那样,在该期间未燃混合气的反应逐渐进行。该图中的点线,表示未燃混合气达到着火的反应度、即着火阈值,以往的 SI 燃烧为,与为低速区域的情况相互结合,而能够反应时间非常长,在此期间,未燃混合气的反应持续进行,因此在点火的前后未燃混合气的反应度会超过点火阈值,会产生提前着火或爆震这种异常燃烧。

[0081] 相对于此,高压延迟喷射以实现能够反应时间的缩短、由此避免异常燃烧为目的。即,如在图 6 中也表示的那样,能够反应时间为,将喷射器 67 喷射燃料的期间((1)喷射期间)、喷射结束后到在火花塞 25 周围形成可燃混合气为止的期间((2)混合气形成期间)、以及到通过点火而开始了的燃烧结束为止的期间((3)燃烧期间)相加了的时间、即(1)+(2)+(3)。高压延迟喷射将喷射期间、混合气形成期间及燃烧期间分别缩短,由此缩短能够反应时间。对此按顺序进行说明。

[0082] 首先,较高的燃料压力使每单位时间从喷射器 67 喷射的燃料量相对增多。因此,在使燃料喷射量一定的情况下,燃料压力与燃料的喷射期间的关系大概为,燃料压力越低则喷射期间越长,燃料压力越高则喷射期间越短。因此,与以往相比燃料压力被设定为大幅度提高的高压延迟喷射,能够缩短喷射期间。

[0083] 此外,较高的燃料压力有利于向气缸 18 内喷射的燃料喷雾的微粒化,并且使燃料喷雾的飞行距离更长。因此,燃料压力与燃料蒸发时间的关系大概为,燃料压力越低则燃料

蒸发时间越长,燃料压力越高则燃料蒸发时间越短。此外,燃料压力与燃料喷雾到达火花塞 25 周围为止的时间的关系大概为,燃料压力越低则到达为止的时间越长,燃料压力越高则到达为止的时间越短。混合气形成期间为将燃料蒸发时间与燃料喷雾到达火花塞 25 周围的时间相加的时间,因此燃料压力越高则混合气形成期间越短。因此,与以往相比燃料压力被设定为大幅度提高的高压延迟喷射为,燃料蒸发时间及燃料喷雾到达火花塞 25 周围的时间分别缩短,结果使混合气形成期间缩短。相对于此,如在该图中用白圆圈所示那样,以往的以较低的燃料压力的进气行程喷射,混合气形成期间大幅度变长。另外,多喷口型的喷射器 67 与腔 141 的组合,在 SI 模式下,会缩短燃料的喷射后到燃料喷雾到达火花塞 25 周围为止的时间,结果对混合气形成期间的缩短有效。

[0084] 如此,缩短喷射期间及混合气形成期间,能够使燃料的喷射正时、更准确地是喷射开始正时成为比较迟的正时。所以,在高压延迟喷射中,如图 6 的上图所示,在从压缩行程后期到膨胀行程初期的延迟期间内进行燃料喷射。随着以较高的燃料压力向气缸 18 内喷射燃料,该气缸内的紊流增强,气缸 18 内的紊流能量增高,该较高的紊流能量与燃料喷射的正时被设定为比较迟的正时的情况相互结合,而有利于燃烧期间的缩短。

[0085] 即,在延迟期间内进行了燃料喷射的情况下,燃料压力与燃烧期间内的紊流能量的关系大概为,燃料压力越低则紊流能量越低,燃料压力越高则紊流能量越高。此处,即使以较高的燃料压力向气缸 18 内喷射燃料,在其喷射正时处于进气行程中的情况下,由于到点火正时为止的时间较长、在进气行程后的压缩行程中气缸 18 内被压缩,因此气缸 18 内的紊流也会衰减。结果,在进气行程中进行了燃料喷射的情况下,燃烧期间内的紊流能量、无论燃料压力的高低都会变得比较低。

[0086] 燃烧期间的紊流能量与燃烧期间的关系大概为,紊流能量越低则燃烧期间越长,紊流能量越高则燃烧期间越短。因此,燃料压力与燃烧期间的关系为,燃料压力越低则燃烧期间越长,燃料压力越高则燃烧期间越短。即,高压延迟喷射会缩短燃烧期间。相对于此,以往的以较低的燃料压力的进气行程喷射,使燃烧期间变长。另外,多喷口型的喷射器 67 有利于气缸 18 内的紊流能量的提高,而对燃烧期间的缩短有效,并且通过该多喷口型的喷射器 67 与腔 141 的组合,来将燃料喷雾收纳在腔 141 内,对燃烧期间的缩短也有效。

[0087] 如此,高压延迟喷射使喷射期间、混合气形成期间及燃烧期间分别缩短,结果,如图 6 所示,能够使从燃料的喷射开始正时 SOI 到燃烧结束时期 θ_{end} 为止的、未燃混合气的能够反应时间,与以往的进气行程中的燃料喷射的情况相比大幅度缩短。缩短该能够反应时间的结果,如图 6 的上段所示的图那样,在以往的以较低的燃料压力的进气行程喷射中,如白圆圈所示那样,燃烧结束时的未燃混合气的反应进行度会超过着火阈值,会产生异常燃烧,而高压延迟喷射为,如黑圆圈所示那样,能够抑制燃烧结束时的未燃混合气的反应的进行,并能够避免异常燃烧。另外,在图 6 的上图中的白圆圈和黑圆圈,点火正时被设定为彼此相同的正时。

[0088] 通过将燃料压力设定为例如 30MPa 以上,由此能够有效地缩短燃烧期间。此外,30MPa 以上的燃料压力还能够分别有效地缩短喷射期间及混合气形成期间。另外,燃料压力优选根据至少含有汽油的、使用燃料的性状来适宜地设定。其上限值,作为一例,也可以为 120MPa。

[0089] 高压延迟喷射为,通过对向气缸 18 内的燃料喷射的方式进行研究来避免 SI 模式

下的异常燃烧的产生。与此不同,一直以来已知的是,以避免异常燃烧为目的而使点火正时滞后。点火正时的滞后化为,通过抑制未燃混合气的温度及压力的上升,来抑制其反应的进行。但是,点火正时的滞后化会导致热效率及扭矩的降低,相对于此,在进行高压延迟喷射的情况下,能够使点火正时提前通过对燃料喷射的方式进行研究而避免异常燃烧的量,因此热效率及扭矩提高。即,高压延迟喷射不仅能够避免异常燃烧,还能够使点火正时提前其能够避免的量,而有利于燃料消耗率的提高。

[0090] 如以上说明的那样,SI 模式下的高压延迟喷射能够分别缩短喷射期间、混合气形成期间及燃烧期间,但在 CI 模式的区域 (3) 中进行的高压延迟喷射,能够分别缩短喷射期间及混合气形成期间。即,通过向气缸 18 内以较高的燃料压力喷射燃料,由此气缸 18 内的紊流增强,因此微粒化了的燃料的混合性提高,即使在压缩上止点附近的较迟的正时喷射燃料,也能够迅速地形成比较均匀的混合气。

[0091] CI 模式下的高压延迟喷射为,在负载比较高的区域中、在压缩上止点附近的较迟的正时喷射燃料,由此例如防止压缩行程期间中的提前着火,并且如上述那样,能够迅速地形成大致均匀的混合气,因此在压缩上止点以后、能够使其可靠地压缩着火。如此,在由于汽车行驶而气缸 18 内的压力逐渐降低的膨胀行程期间,通过进行压缩着火燃烧,由此燃烧变得缓慢,能够避免与压缩着火燃烧相伴随的气缸 18 内的压力上升 (dP/dt) 变得陡峭。如此,能够消除 NVH(Noise, Vibration, and Harshness) 的制约,结果,CI 模式的区域向高负载侧扩大。

[0092] 返回 SI 模式的说明,如上述那样,SI 模式的高压延迟喷射,虽然通过在延迟期间内进行燃料喷射来缩短未燃混合气的能够反应时间,可是该能够反应时间的缩短,在发动机 1 的转速比较低低速区域中、相对于曲轴转角变化的实际时间较长,因此是有效的,相对于此,在发动机 1 的转速比较高的高速区域中,相对于曲轴转角变化的实际时间较短,因此并不十分有效。反之,在延迟喷射中,将燃料喷射时期设定在压缩上止点附近,因此在压缩行程中,不包含燃料的缸内气体、换言之比热容比高的空气被压缩。结果,在高速区域中,气缸 18 内的压缩上止点温度变高,该较高的压缩上止点温度会导致爆震。因此,在区域 (5) 中仅进行延迟喷射时,会产生必须使点火正时滞后化而避免爆震的情况。

[0093] 所以,如图 4 所示,在 SI 模式下,在转速相对高的区域 (5) 中,如图 5(d) 所示,将喷射的燃料的一部分、在进气行程期间内向气缸 18 内喷射,并且将剩余的燃料在延迟期间内向气缸 18 内喷射。在进气行程喷射中,使压缩行程中的缸内气体(即包含燃料的混合气)的比热容比下降,由此能够将压缩上止点温度抑制得较低。如此,能够通过降低压缩上止点温度来抑制爆震,因此能够使点火正时提前。

[0094] 此外,通过进行高压延迟喷射,由此如上述那样,在压缩上止点附近的气缸 18 内(燃烧室 19 内)紊流增强,燃烧期间变短。该情况还有利于抑制爆震,能够使点火正时进一步提前。如此,在区域 (5) 中,通过进行进气行程喷射和高压延迟喷射的分段喷射,能够避免异常燃烧,并且使热效率提高。

[0095] 另外,为了在区域 (5) 中缩短燃烧期间,也可以取代进行高压延迟喷射而采用多点点火构成。即,将多个火花塞面向燃烧室内配置,在区域 (5) 中,执行进气行程喷射、并且驱动该多个火花塞的各自,由此进行多点点火。由此,火焰从燃烧室 19 内的多个火种的各自扩展,因此,火焰的扩展较快而燃烧期间缩短。结果,与采用了高压延迟喷射的情况同样

地缩短燃烧期间,而有利于热效率的提高。

[0096] 如此,发动机 1 进行与各运转区域相对应的运转。

[0097] 〈减速时断油〉

[0098] 此外,发动机 1 被控制为,在车辆减速时执行停止从喷射器 67 的燃料供给的所谓断油。通过该减速时断油,能够实现燃料消耗率提高。以下,参照图 7 ~ 11 对基于 PCM10 的发动机 1 的减速时断油进行详细说明。图 7 是表示减速时断油(以下还简称为“断油”)的处理的流程图。图 8 ~ 11 是表示断油控制中的发动机 1 的各要素的状态的图。图 8 ~ 11 的各图中的(A)图表示燃料喷射正时及气缸 18 内的压力变化、以及进行火花点火的情况下的火花点火正时,(B)图表示进气门 21 的升程量(虚线)及排气门 22 的升程量(实线),(C)图表示节气门 36 的开度,(D)图表示气缸 18 内的成分。

[0099] 在以下的说明中,对从在上述区域(4)中以 SI 模式使发动机 1 运转的状态开始进行断油的情况进行说明。具体地,发动机 1 进行如图 8 所示那样的运转。即,如图 8(B)所示,在排气行程中排气门 22 开启,在进气行程中进气门 21 开启。而且,如图 8(A)所示,在压缩行程后期、压缩上止点前进行高压延迟喷射,在压缩上止点后进行点火。此时,将混合气的空燃比设定为理论空燃比($\lambda \approx 1$),并调整新气量及 EGR 气体的量,以成为与燃料喷射量相称的新气量。在该例中,如图 8(C)所示,节气门 36 全开。另一方面,EGR 阀 511 及 EGR 冷却器旁通阀 531 全闭。因此,燃烧前后的气缸 18 内的状态为,燃烧前为几乎都是新气的状态,在该状态下喷射燃料,燃烧后几乎都成为已燃气体。

[0100] 首先,在步骤 S1 中,PCM10 判定断油的执行条件是否成立。此处,执行条件为,发动机转速为规定值(例如 1500rpm)以上且油门开度成为零(即,油门踏板未被踩下的状态)。即,根据油门开度成为零的情况,能够判定基于不踩油门的发动机 1 的减速状态,但在发动机转速过低时,不执行断油。另外,该执行条件为一例,并非限定于此。在执行条件成立时,PCM10 转移至步骤 S2,而在执行条件不成立时,PCM10 反复进行步骤 S1。

[0101] 在步骤 S2 中,PCM10 执行断油。即,PCM10 将喷射器 67 的燃料喷射停止。此时,将全部气缸的喷射器 67 的燃料喷射一齐停止。此后,PCM10 转移至步骤 S3。

[0102] 另外,在减速时,PCM10 使发电机 81 成为发电状态,将车辆的动能变换为电能,并回收为电力。此时,如图 9(C)所示,PCM10 使节气门 36 全开。由此,能够降低泵损失、而将发动机 1 的动能效率良好地变换为电能。

[0103] 接着,在步骤 S3 中,PCM10 将 EGR 气体向气缸 18 内导入。具体地,PCM10 将 VVL71 开启,并如图 9(B)所示,进行使排气门 22 在进气行程中开启的排气的二次开启。由此,向气缸 18 内导入热 EGR 气体,抑制气缸 18 内的温度降低。尤其是,如上述那样,在为了降低泵损失而使节气门 36 全开的情况下,具有新气向气缸 18 内的导入量增多的倾向,但通过导入热 EGR 气体,能够抑制新气向气缸 18 内的导入量,而抑制断油紧后的气缸 18 内的温度降低。

[0104] 此时,PCM10 控制 VVT72 及 CVVL73,而进行进气门 22 的延迟关闭,使混合气向进气口 16 吹回。详细地,在进气行程中使排气门 22 开启,并在使其关闭紧后(即,第二次使排气门 22 开启的事件结束紧后),使进气门 21 开启。进气门 21 的开启时期为,经过了进气行程的一半的附近。此后,在压缩行程中使进气门 21 关闭。进气门 21 的关闭时期成为,超过进气下止点、并经过了压缩行程的一半的附近。如此,PCM10 在进气行程中在使排气门 22

开启之后使进气门 21 开启,并在使该排气门 22 关闭之后、混合气向进气口 16 吹回的正时,使该进气门 21 关闭。

[0105] 通过该进气的延迟关闭而气缸 18 的封闭容积降低,因此气缸 18 内的混合气的容量,如图 9(D) 所示,与断油前相比减少(参照图 8(D))。因此,能够在此后的排气行程中降低向排气口 17 排气的新的气的量。结果,能够抑制断油中的直接催化剂 41 及下级催化剂 42 的温度降低。

[0106] 并且,通过排气的二次开启,而在该混合气中含有 EGR 气体。因此,能够使混合气的温度成为高温,能够抑制气缸 18、进气口 16 及排气口 17 的温度降低。由此,也能够抑制断油中的直接催化剂 41 及下级催化剂 42 的温度降低。

[0107] 进一步,通过进气的延迟关闭,而包含 EGR 气体的混合气的一部分向进气口 16 吹回。因此,从进气口 16 向气缸 18 内导入的气体含有 EGR 气体,因此与单纯的新气相比温度较高。由此,也能够抑制气缸 18 内的温度降低。

[0108] 此外,如图 9(A) 所示,通过进气的延迟关闭,能够抑制气缸 18 内的压力上升,因此能够降低泵损失。发动机 1 具备减速再生系统 80,在断油中对动能进行再生。即,通过进行进气的延迟关闭,能够再生更多的动能。进一步,此时,如图 9(C) 所示,节气门 36 成为全开。由此,也能够降低泵损失,能够再生更多的动能。

[0109] 接着,在步骤 S4 中,PCM10 判定燃料喷射的重新开始条件是否成立。此处,重新开始条件为,发动机 1 成为规定的运转状态,具体地,发动机转速成为比执行条件的发动机转速低的规定值(例如 800rpm)以下。该规定值是比怠速转速稍高的值。满足该重新开始条件的运转状态包含在上述区域(1)内。另外,该重新开始条件为一例,并非限定于此。

[0110] 通常,当执行断油时,发动机负载急速地降低,发动机 1 的运转状态进入上述区域(1)内。然后,发动机转速逐渐降低。结果,发动机 1 最终成为上述规定的运转状态(发动机转速为规定值以下)。在重新开始条件成立时,PCM10 转移至步骤 S5,而在重新开始条件不成立时,PCM10 反复进行步骤 S4。

[0111] 在步骤 S5 中,PCM10 重新开始燃料喷射及燃烧。

[0112] 详细地,如图 10(A) 所示,PCM10 在 SI 模式下重新开始燃烧。此时,PCM10 执行高压延迟喷射。

[0113] 此外,PCM10 使进气门 21 的开启时期及关闭时期提前。具体地,进气门 21 的开启时期被提前到压缩行程的一半近前。进气门 21 的关闭时期被提前到进气下止点附近。由此,能够为了燃烧重新开始而确保新气量。另外,PCM10 控制 CVVL73,以成为与扭矩相应的较低的升程量。

[0114] 进一步,如图 10(B) 所示,PCM10 继续进行基于排气的二次开启的 EGR 气体的导入。而且,使混合气的空气过剩率为 $\lambda \approx 1$ 。另外,如图 10(C) 所示,节气门 36 成为全开。在本实施方式中,SI 模式仅为 1 个循环,此后,PCM10 转移至步骤 S6。

[0115] 在该燃料喷射的重新开始时,通过导入热 EGR 气体来抑制气缸 18 的温度降低,并且如图 10(D) 所示,通过 EGR 气体导入的继续,而气缸 18 内的新气的比例增加,因此能够使 SI 模式下的着火性提高。即,在断油中不进行燃烧,因此即使 EGR 气体向气缸 18 内再循环,其中含有的已燃气体的比例也逐渐降低。即,随着时间经过,气缸 18 内的已燃气体的比例减少,新气的比例增加。尤其是,在自动变速器的锁止机构动作的情况下等,即使执行断油,

发动机转速也不会急剧地降低,而是逐渐降低。因此,从开始断油到满足重新开始条件为止的时间较长,EGR 气体的大部分能够成为新气。

[0116] 如此,当断油继续进行某种程度时,成为在气缸 18 内确保有某种程度的新气量的状态。当气缸 18 内的新气量增加时,火焰传播变得良好,因此 SI 模式下的着火性提高。

[0117] 但是,在燃料喷射的重新开始时,气缸 18 内的新气的比例变多,因此当在从进气行程到压缩行程中期的期间内进行燃料喷射时,可能产生提前点火等异常燃烧。所以,执行高压延迟喷射。由此,能够避免异常燃烧。

[0118] 此时,在步骤 S3 中执行的热 EGR 气体的导入,在 SI 模式下也继续。即,SI 模式下的火花点火燃烧后的已燃气体,作为热 EGR 气体向气缸 18 内回流。结果,在火花点火燃烧后,气缸 18 内的温度成为高温。此处,为了与新气相比使热 EGR 气体的导入量增多,而使第二次的排气门 22 的开启正时先于进气门 21 的开启正时。由此,能够成为在进气行程初期仅排气门 22 开启的状态,因此能够将热 EGR 气体优先地向气缸 18 内吸入。

[0119] 此后,在步骤 S6 中,PCM10 转移至 CI 模式。此时,在气缸 18 内,如图 11(D) 所示,之前的步骤 S5 中的火花点火燃烧后的已燃气体回流到气缸 18 内。因此,气缸 18 内成为高温,能够执行压缩着火燃烧。另外,如图 11(B) 所示,进气门 21 被控制为,成为与扭矩相应的较低的升程量,如图 11(C) 所示,节气门 36 成为全开。此外,如图 11(B) 所示,排气的二次开启继续进行,热 EGR 气体被导入气缸 18 内,因此工作气体燃料比 G/F 成为稀。混合气的空气过剩率 λ 被设定为例如 2.4 以上。

[0120] 但是,气缸 18 内成为高温,因此为了避免提前着火等异常燃烧,而如图 11(A) 所示,执行高压延迟喷射。由此,能够避免异常燃烧,并实现压缩着火燃烧的安定化。

[0121] 如此,结束断油控制,此后,以与上述的运转区域相应的运转模式使发动机 1 运转。

[0122] 因此,实施方式 1 的发动机 1 具备:具有气缸 18 的发动机主体;对向上述气缸 18 开口的进气口 16 进行开闭的进气门 21;对向上述气缸 18 开口的排气口 17 进行开闭的排气门 22;构成为向上述气缸 18 内喷射燃料的喷射器 67;设置在排气通路 40 上的直接催化剂 41 及下级催化剂 42;以及构成为通过至少控制上述进气门 21、上述排气门 22 及上述喷射器 67 而使上述发动机主体运转的 PCM10,其中,上述 PCM10 构成为,至少在上述发动机主体的运转状态处于规定的低负载区域时,进行使上述气缸 18 内的混合气通过自燃来燃烧的压缩着火燃烧,而使上述发动机主体运转,在油门踏板未被踩下的状态下的上述发动机主体的减速时,停止从上述喷射器 67 的燃料喷射而执行断油,在该发动机主体的转速降低到规定值时,使该喷射器 67 的燃料喷射重新开始,在上述断油中,在进气行程中在使上述排气门 22 开启之后、使上述进气门 21 开启,在使该排气门 22 关闭之后、混合气向进气口 16 吹回的正时,使该进气门 22 关闭。

[0123] 根据该构成,在断油中进气门 21 在排气门 22 之后开启,并且在排气门 22 之后关闭,因此新气向气缸 18 内的吸入量降低,并且气缸 18 内的气体的一部分向进气口 16 吹回。如此,能够降低在气缸 18 内封闭的新气量。由此,能够降低在此后的排气行程中向排气口 17 排气的新气量,能够降低到达直接催化剂 41 及下级催化剂 42 的新气量。结果,能够抑制断油中的直接催化剂 41 及下级催化剂 42 的温度降低。

[0124] 进一步,在断油中,在进气行程中使排气门 22 开启,因此向气缸 18 导入 EGR 气体。

在断油中不进行燃烧,因此气缸 18 内的温度具有降低的倾向,但能够通过导入 EGR 气体来抑制断油紧后的气缸 18 内的温度降低。结果,向排气口 17 排气的混合气含有 EGR 气体,与仅为新气的情况相比成为高温。该情况对于抑制直接催化剂 41 及下级催化剂 42 的温度降低也有效。

[0125] 进一步,使含有 EGR 气体的混合气向进气口 16 吹回,因此在进气行程中从进气口 16 向气缸 18 内导入的气体也包含 EGR 气体。该气体与仅为新气的情况相比成为高温。该情况对于一只直接催化剂 41 及下级催化剂 42 的温度降低也有效。

[0126] 此外,通过进行 EGR 及进气的延迟关闭,能够抑制断油中的气缸 18 内的温度降低。由此,能够使燃料喷射重新开始时的燃烧的着火性提高。

[0127] 此外,上述 PCM10 构成为,在上述发动机 1 的运转状态处于上述区域 (1) 时,进行使上述气缸内的混合气通过自燃来燃烧的压缩着火燃烧,而使上述发动机 1 运转。

[0128] 当进行断油时,发动机负载急速地降低。因此,在从断油重新开始燃料喷射时,通常,发动机 1 的运转状态处于区域 (1) 内。即,在燃料喷射重新开始时,发动机 1 的运转状态处于进行压缩着火燃烧的区域。对于进行压缩着火燃烧来说,气缸 18 内的温度降低是不优选的,而从压缩着火燃烧的观点出发、进行上述的 EGR 及进气的延迟关闭也是有利的。

[0129] 此外,上述 PCM10 构成为,在上述发动机 1 的运转状态至少处于区域 (4)、(5) 时,将空气过剩率设定为 1 以下而使该发动机 1 运转。

[0130] 在上述区域 (4)、(5) 中,空气过剩率为 1 以下,因此燃烧气体温度变高。因此,在从发动机 1 的运转状态处于区域 (4)、(5) 的状态开始执行断油的情况下,能够将比较高温的已燃气体向气缸 18 内导入,能够有效地抑制直接催化剂 41 及下级催化剂 42 的温度降低。

[0131] 此外,上述 PCM10 为,在使上述燃料喷射重新开始时,使上述进气门 21 的关闭时期提前。由此,能够为了燃烧重新开始而确保新气量。

[0132] 进一步,发动机 1 还具备在减速时再生动能的减速再生系统 80。

[0133] 根据该构成,在断油中执行进气的延迟关闭,因此能够降低泵损失。结果,能够由减速再生系统 80 再生更多的动能。进一步,在上述实施方式中,在断油中使节气门 36 全开,因此在这一点上,也能够降低泵损失而再生更多的动能。

[0134] 《其他实施方式》

[0135] 在上述实施方式中,在断油时将全部气缸的喷射器 67 的燃料喷射一齐停止,但并非限定于此。例如也可以为,以首先停止一半气缸的喷射器 67 的燃料喷射、接着停止剩余气缸的喷射器 67 的燃料喷射的方式,使喷射器 67 的燃料喷射阶段性地停止。由此,能够缓和断油时的发动机 1 的扭矩冲击等。

[0136] 此外,在上述的说明中,对从发动机 1 在区域 (4) 中运转的状态开始执行断油的事例进行了说明,但并非限定于此。例如,也可以从发动机 1 在区域 (3) 中运转的状态开始执行断油。

[0137] 在上述实施方式中,在燃料喷射重新开始时进行 SI 模式、并转移至 CI 模式,但并非限定于此。例如,也可以在燃料喷射重新开始时进行 CI 模式。

[0138] 此外,即使在燃料喷射重新开始时进行 SI 模式的情况下,也能够任意地设定其循环数。即,也可以在多个循环的 SI 模式后、转移至 CI 模式。例如也可以为,监视气缸 18 内的温度,在通过 SI 模式的燃烧而气缸 18 内的温度成为规定值以上时转移至 CI 模式。

[0139] 另外,在上述实施方式中,在进行了断油之后,进行 EGR 气体的导入,但并非限定于此。例如,也可以在进行了 EGR 气体的导入之后、进行断油,还可以同时进行断油与 EGR 气体的导入。

[0140] 此外,对于其他步骤,只要实现上述的作用效果,也可以适时地变更顺序、或并列地处理。

[0141] 此外,进气行程期间内的燃料喷射也可以为,并不通过设置在气缸 18 内的喷射器 67,而是通过另行设置于进气口 16 的进气口喷射器,向进气口 16 内喷射燃料。

[0142] 此外,发动机 1 不限于直列 4 气缸发动机,也可以应用于直列 3 气缸、直列 2 气缸、直列 6 气缸发动机等。此外,能够应用于 V 型 6 气缸、V 型 8 气缸、水平对置 4 气缸等各种发动机。

[0143] 进一步,在上述的说明中,在规定的运转区域中将混合气的空燃比设定为理论空燃比 ($\lambda \approx 1$),但也可以将混合气的空燃比设定为稀。但是,将空燃比设定为理论空燃比具有能够利用三元催化剂这种优点。

[0144] 图 4 所示的运转区域为例示,除此以外还能够设置各种运转区域。

[0145] 此外,高压延迟喷射也可以根据需要进行分段喷射,同样地,进气行程喷射也可以根据需要进行分段喷射。在这些分段喷射中,也可以在进气行程和压缩行程的各自中喷射燃料。

[0146] 如以上那样,作为在本申请中公开的技术的例示,说明了上述实施方式。但是,本表面公开的技术并非限定于此,还能够应用于适宜地进行了变更、置换、附加、省略等的实施方式。此外,还能够将在上述实施方式中说明了的各构成要素组合作为新的实施方式。此外,在附图及详细说明所记载的构成要素中,不仅包括为了解决课题所必须的构成要素,还包括为了例示上述技术、而不是为了解决课题所必须的构成要素。因此,不应该因为这些并非必须的构成要素记载在附图、详细说明中,就直接认定这些并非必须的构成要素是必须的。

[0147] 产业上的可利用性

[0148] 如以上说明的那样,本发明公开的技术对于火花点火式直喷发动机是有用的。

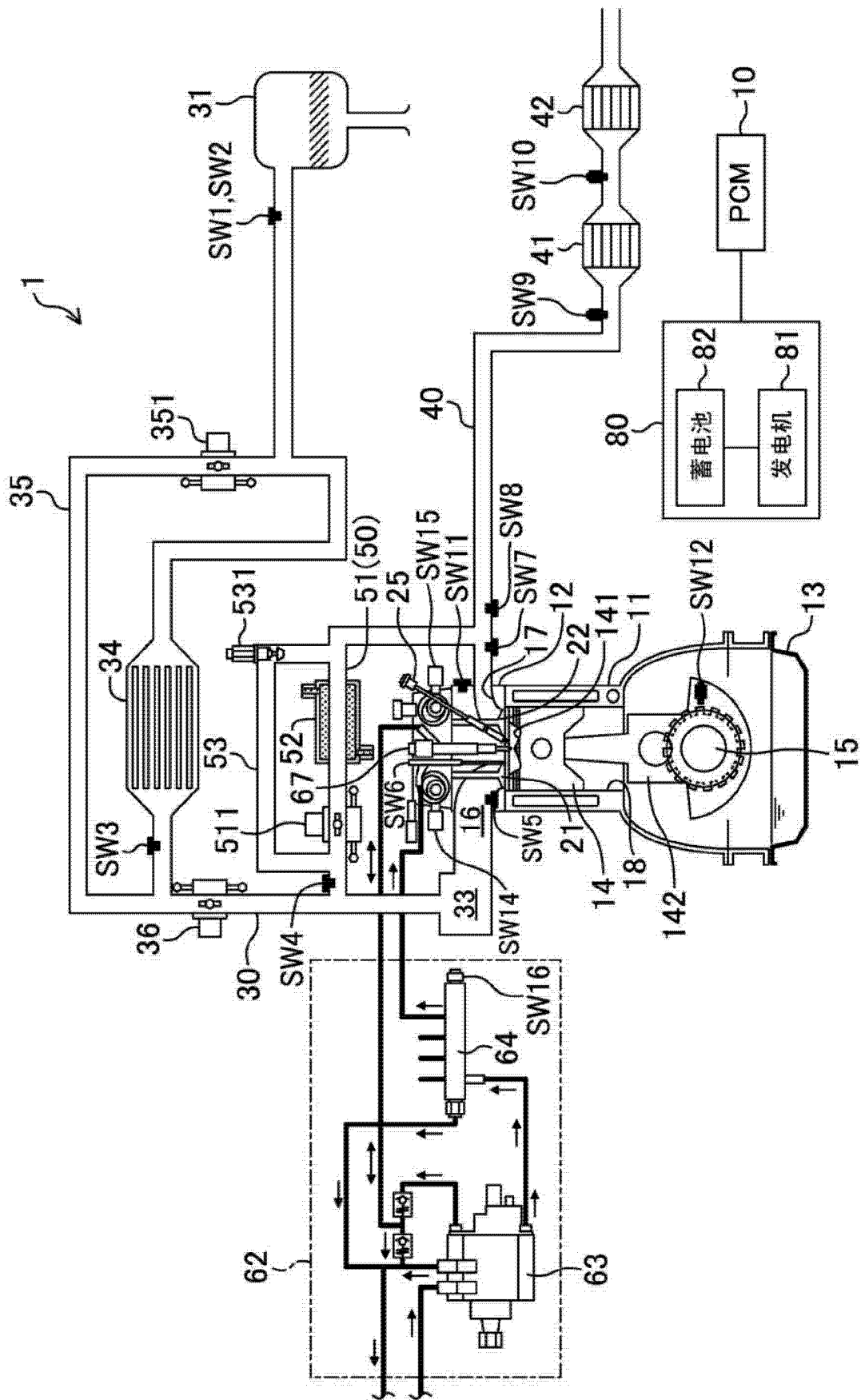


图 1

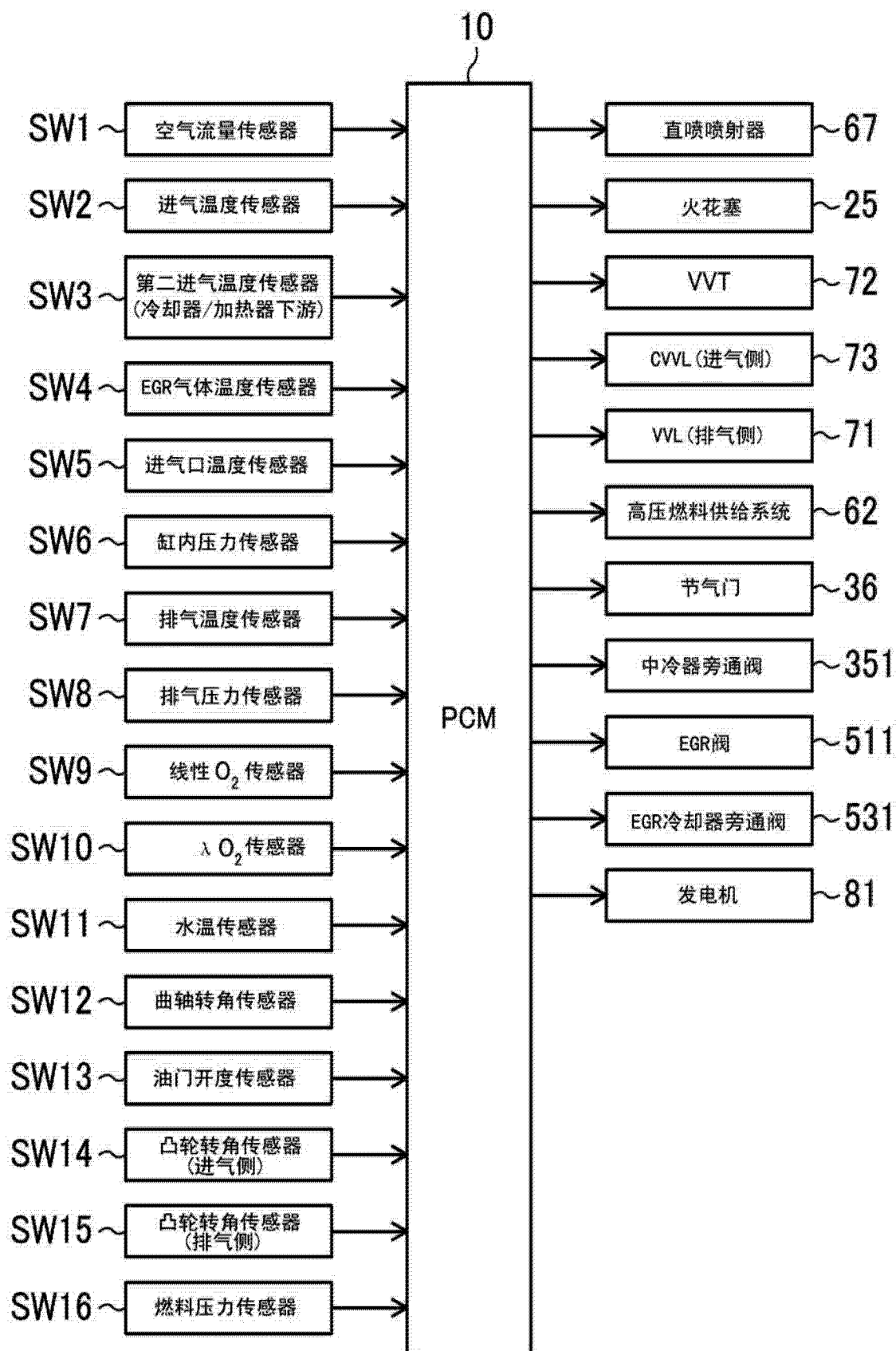


图 2

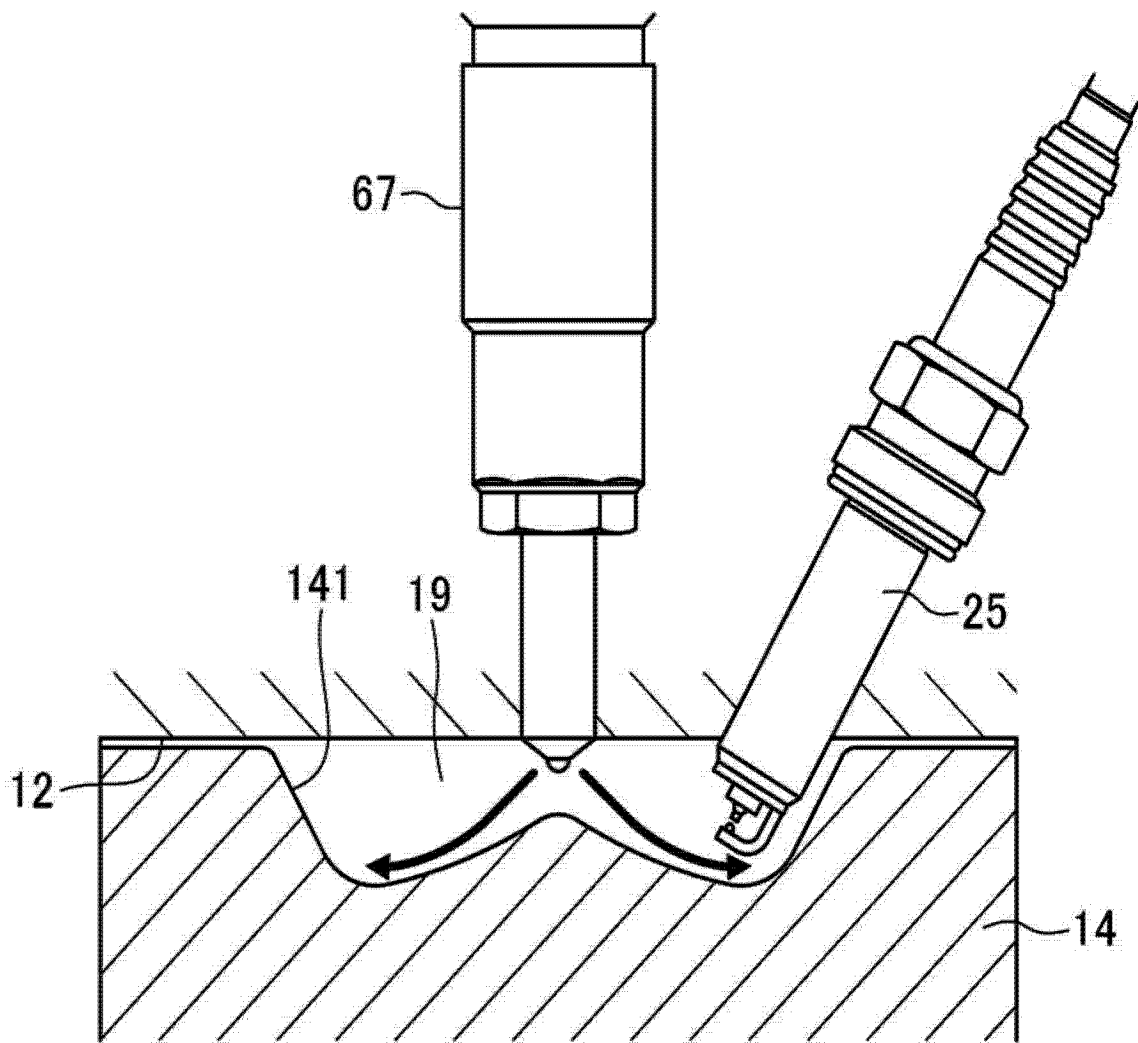


图 3

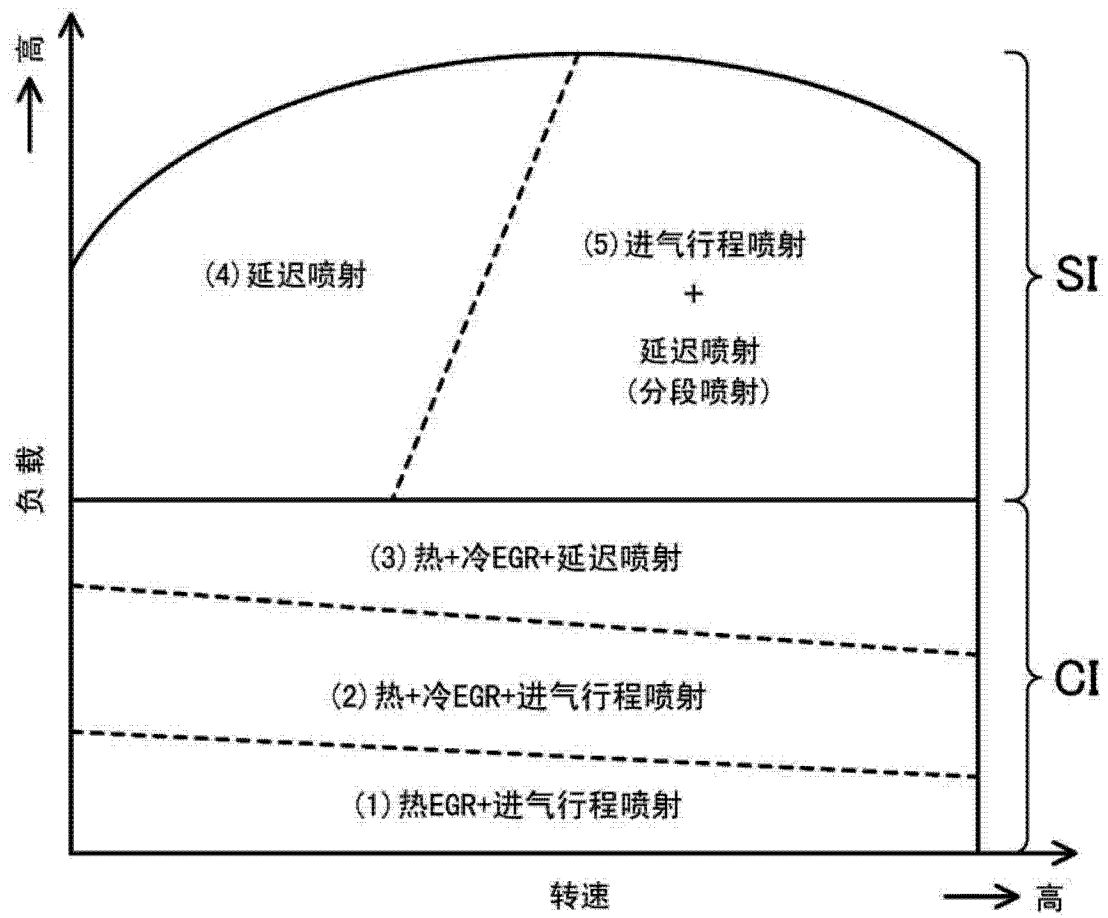


图 4

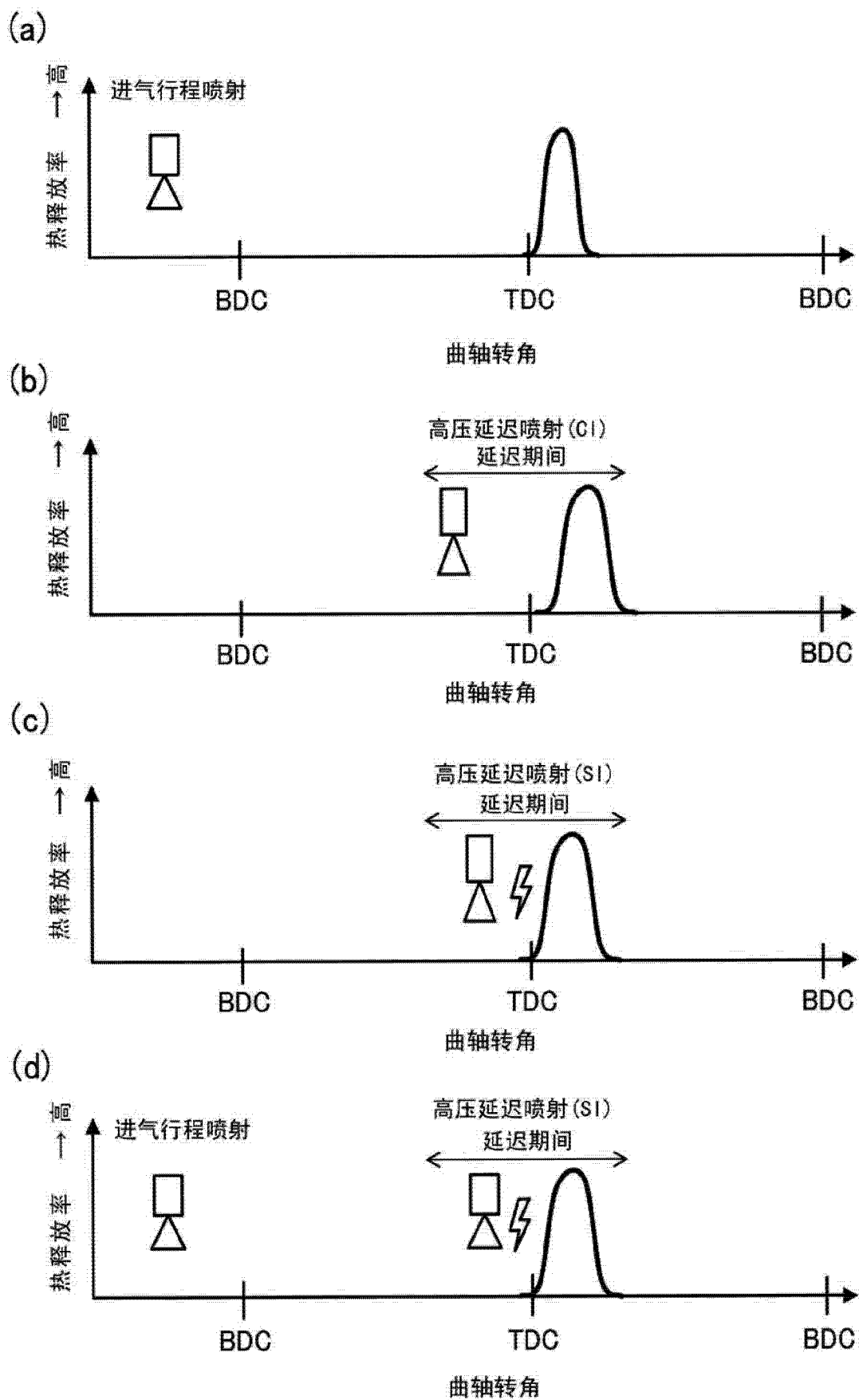


图 5

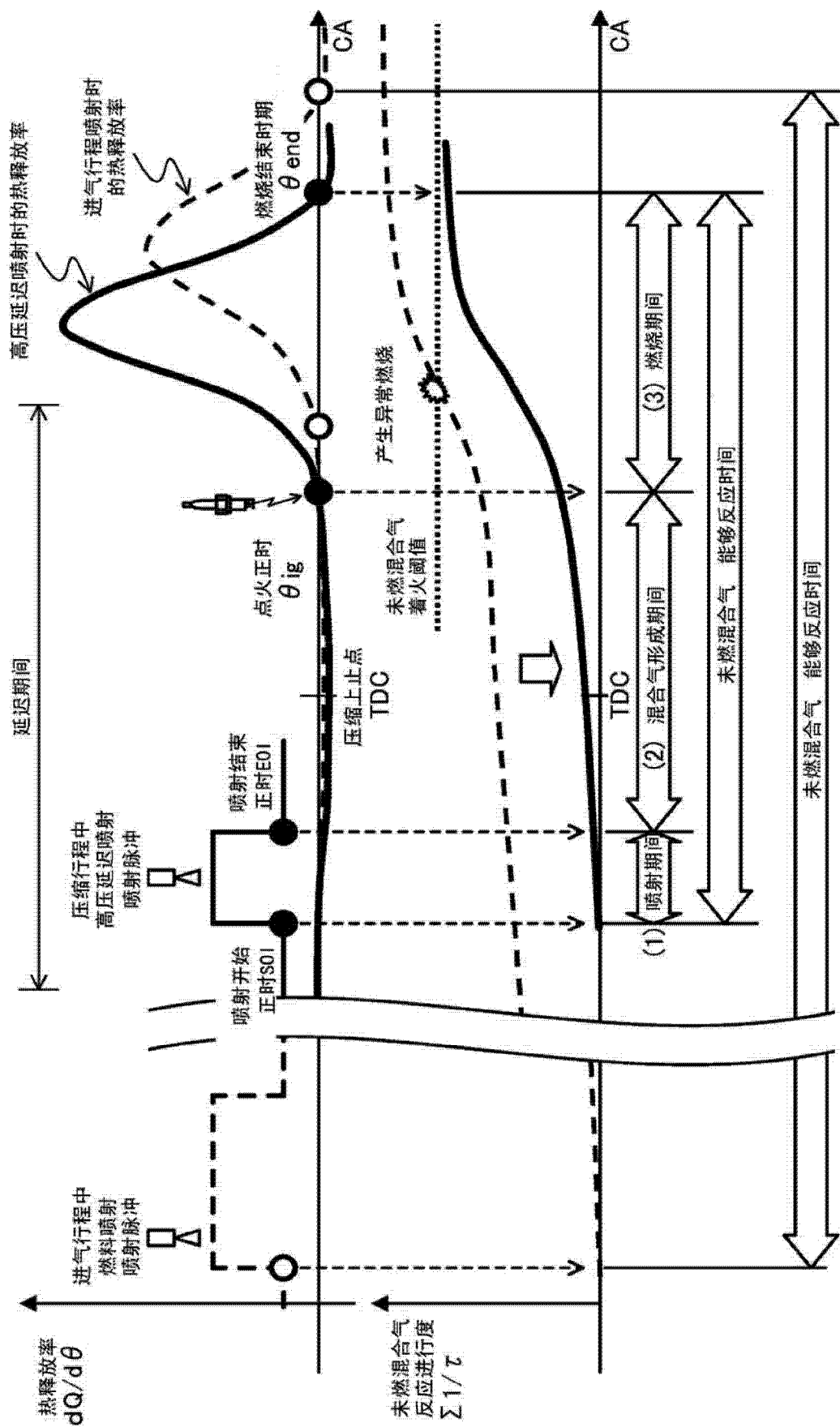


图 6

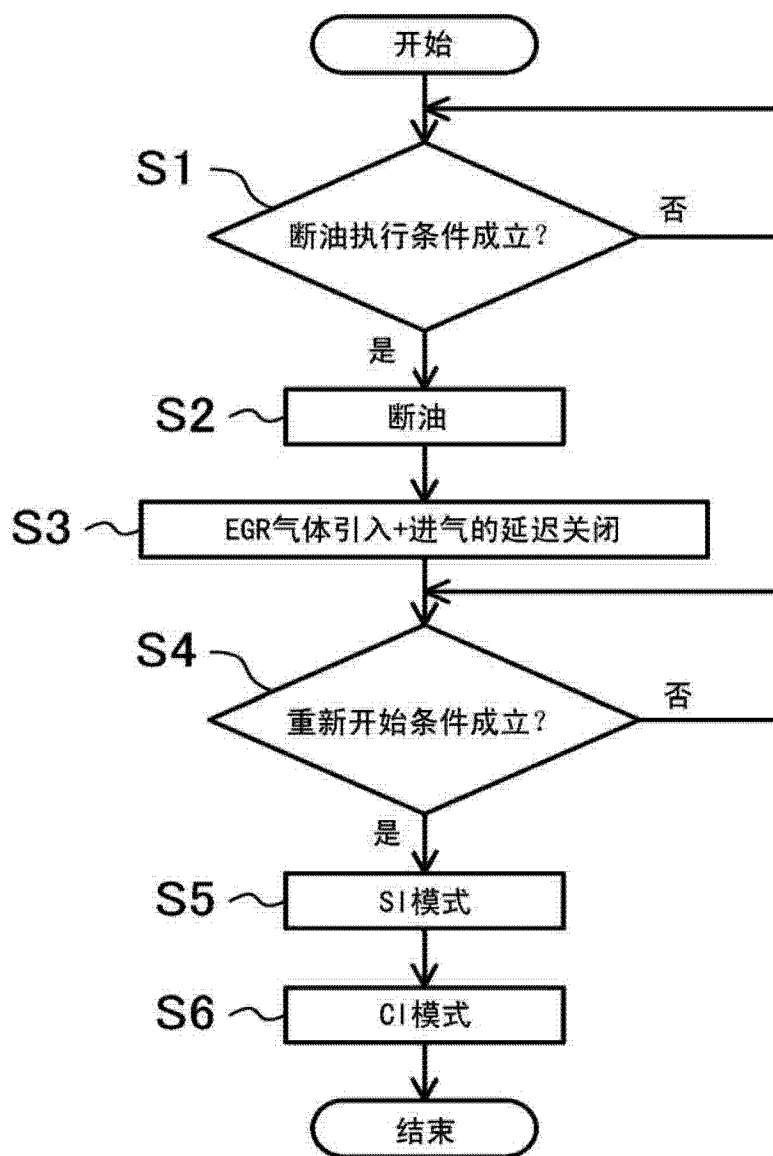


图 7

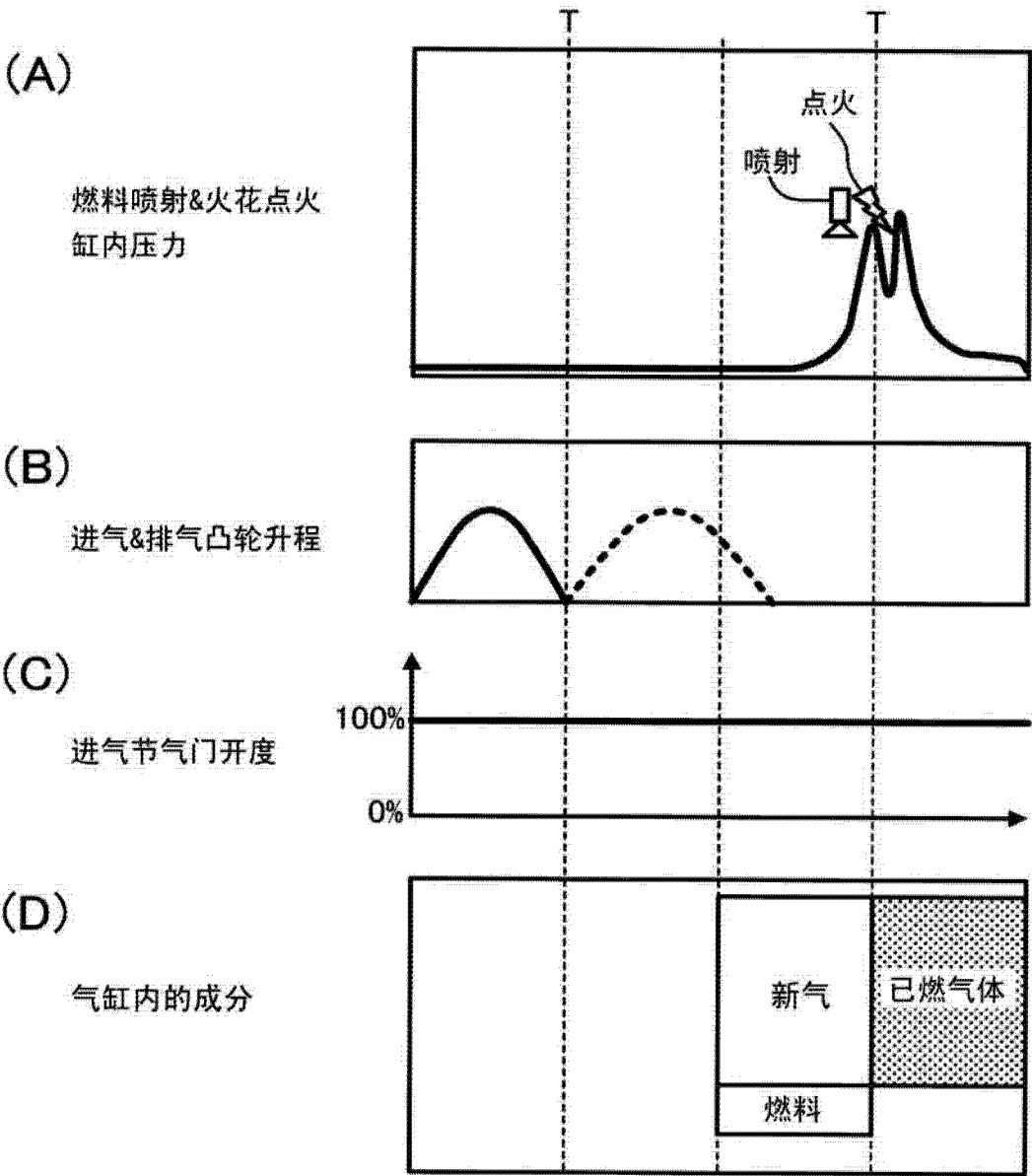


图 8

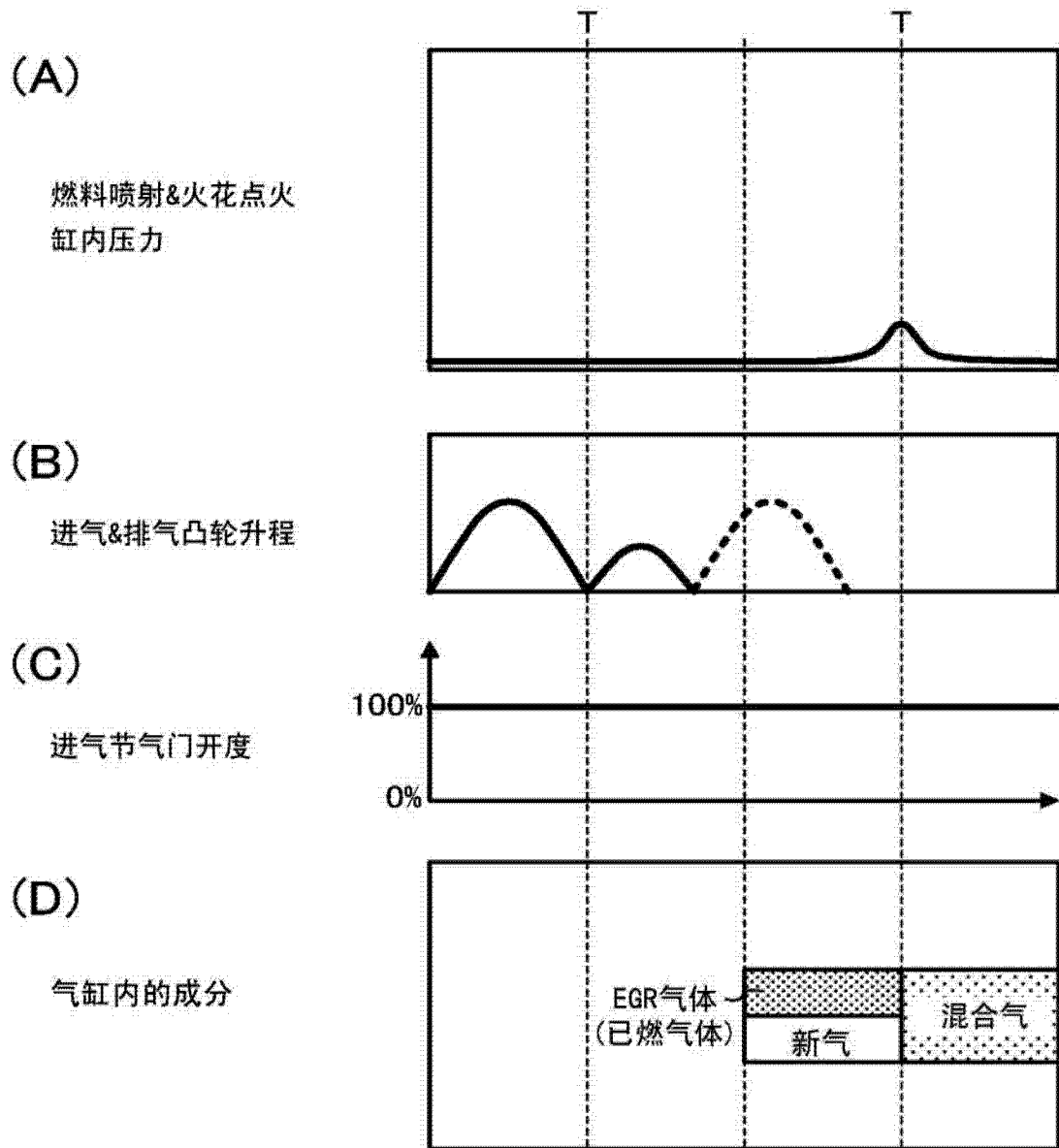


图 9

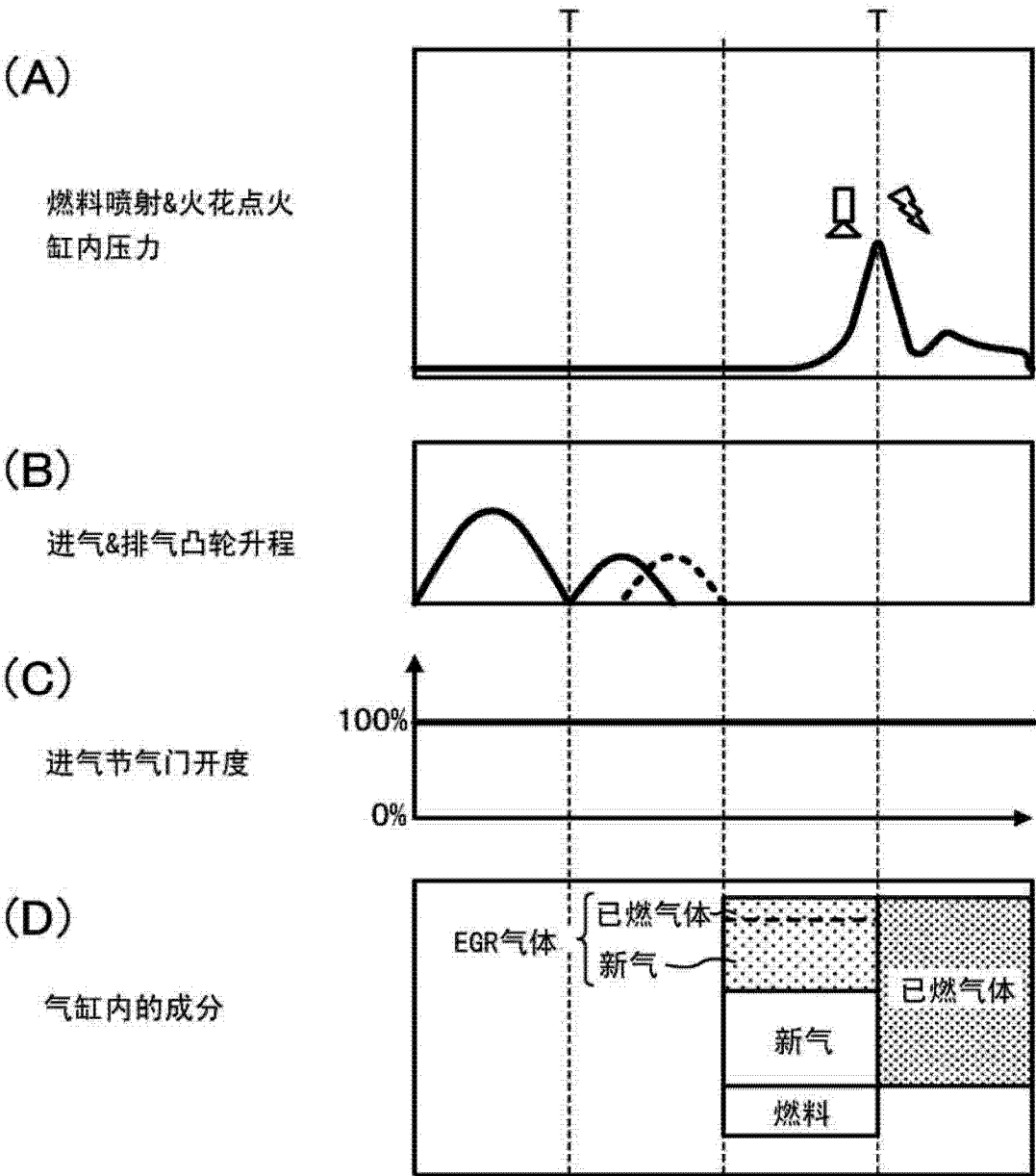
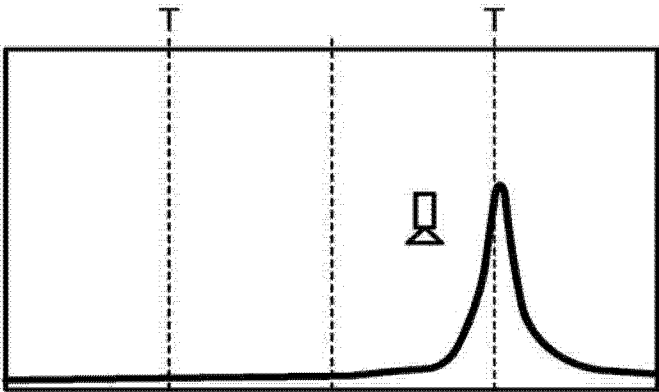


图 10

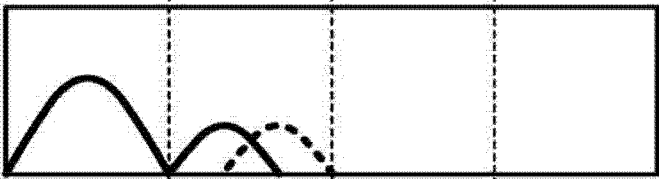
(A)

燃料喷射&火花点火
缸内压力



(B)

进气&排气凸轮升程



(C)

进气节气门开度



(D)

气缸内的成分



图 11