



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106414972 B

(45)授权公告日 2019.08.27

(21)申请号 201580026806.0

(22)申请日 2015.06.08

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106414972 A

(43)申请公布日 2017.02.15

(30)优先权数据
2014-120797 2014.06.11 JP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2016.11.23

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2015/002871 2015.06.08

(87)PCT国际申请的公布数据
W02015/190084 EN 2015.12.17

(73)专利权人 丰田自动车株式会社
地址 日本爱知县丰田市

(72)发明人 越智雄大 柏仓利美

(74)专利代理机构 中原信达知识产权代理有限
责任公司 11219
代理人 沈同全 车文

(51)Int.Cl.
F02D 41/30(2006.01)
F02D 41/40(2006.01)

(56)对比文件
US 4621599 A, 1986.11.11,
JP 2009264332 A, 2009.11.12,
DE 19815266 A1, 1998.10.22,
US 2008228378 A1, 2008.09.18,
CN 101512120 A, 2009.08.19,
审查员 马正颖

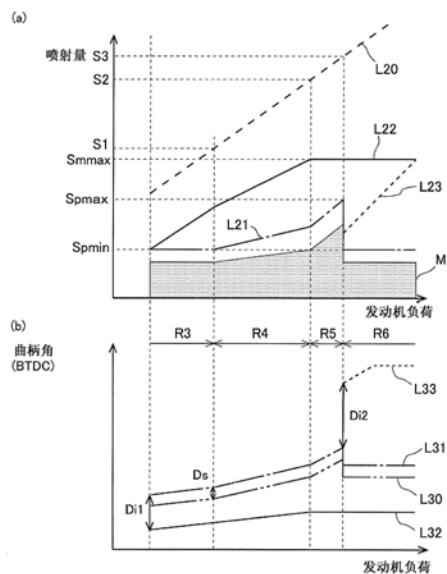
权利要求书2页 说明书28页 附图16页

(54)发明名称

用于内燃机的控制设备

(57)摘要

本发明的目的在于使用具有相对较高自燃温度的燃料在内燃机中在具有减少烟的情况下使柴油燃烧发生。控制设备在压缩冲程期间的第一喷射时间执行第一喷射,使喷雾引导燃烧发生,并且在发生喷雾引导燃烧之后且在压缩冲程的上死点之前的第二喷射时间执行第二喷射,使得通过由喷雾引导燃烧产生的火焰来开始的喷射燃料的燃烧,从而使燃料的自燃和扩散燃烧发生。在发动机负荷高于预定负荷的运行范围中,该设备在压缩冲程期间的第一喷射时间之前的第三喷射时间执行第三喷射,使得由第三喷射喷射的燃料在开始第二喷射之后通过自燃或扩散燃烧而燃烧。



1. 一种用于内燃机的控制设备,包括:

燃料喷射阀,所述燃料喷射阀能够将作为燃料的汽油喷射到所述内燃机的燃烧室中;

火花塞,所述火花塞相对于所述燃料喷射阀的位置被设定成使得通过所述燃料喷射阀喷射的燃料喷雾穿过能点火区域并且所述火花塞能直接火花点燃所述燃料喷雾;以及

燃烧控制装置,所述燃烧控制装置在压缩冲程期间的第一喷射时间通过所述燃料喷射阀执行第一喷射,通过所述火花塞火花点燃通过所述第一喷射形成的预喷雾,并且在通过所述火花塞点燃所述预喷雾之后并且在所述压缩冲程的上死点之前的第二喷射时间开始通过所述燃料喷射阀执行第二喷射,

其中所述第一喷射时间与所述第二喷射时间之间具有预定第一喷射间隔,所述第一喷射间隔被设定成使得通过由所述预喷雾的点火产生的火焰来开始由所述第二喷射喷射的燃料的燃烧,从而使燃料的自燃出现并且使由所述第二喷射喷射的一部分燃料通过扩散燃烧而燃烧,

其中,当预喷射燃料的量增加时,所述燃烧控制装置响应于所述预喷射燃料的量的增加而使所述第一喷射时间提前,从而增加所述第一喷射时间和所述第二喷射的预定喷射开始时间之间的喷射间隔,

其中,在所述内燃机的发动机负荷高于预定负荷的运行范围中,除了所述第一喷射和第二喷射之外,所述燃烧控制装置还在所述压缩冲程期间在所述第一喷射时间之前的第三喷射时间执行第三喷射,其中在所述第一喷射与所述第三喷射之间具有预定第二喷射间隔,所述第二喷射间隔被设定成使得通过所述第三喷射喷射的燃料在开始所述第二喷射之后通过自燃或扩散燃烧来燃烧。

2. 根据权利要求1所述的用于内燃机的控制设备,其中,在所述内燃机的发动机负荷高于所述预定负荷的运行范围中,所述燃烧控制装置响应于所述发动机负荷的增加而增加所述第三喷射中的燃料喷射量并且通过使所述第三喷射时间提前来增加所述第三喷射时间与所述第一喷射时间之间的喷射间隔。

3. 根据权利要求2所述的用于内燃机的控制设备,其中,当所述燃烧控制装置响应于所述发动机负荷的增加而增加所述第三喷射中的燃料喷射量时,响应于所述发动机负荷的增加的总燃料喷射量的增加的百分之五十或更多由所述第三喷射中的燃料喷射量的增加组成,并且所述总燃料喷射量中的所述增加的剩余部分由在所述第一喷射和第二喷射中至少一个喷射中的燃料喷射量的增加组成。

4. 根据权利要求1至3中的任一项所述的用于内燃机的控制设备,其中,在所述内燃机的发动机负荷高于所述预定负荷的运行范围中,所述燃烧控制装置不考虑所述发动机负荷而将所述第二喷射中的燃料喷射量保持在固定量。

5. 根据权利要求1至3中的任一项所述的用于内燃机的控制设备,其中,在所述内燃机的发动机负荷高于所述预定负荷的运行范围中,所述燃烧控制装置不考虑所述发动机负荷而将所述第一喷射中的燃料喷射量保持在固定量。

6. 根据权利要求5所述的用于内燃机的控制设备,其中,在所述内燃机的发动机负荷等于或低于所述预定负荷的运行范围中,所述燃烧控制装置响应于所述发动机负荷的增加而增加所述第一喷射中的燃料喷射量并且使所述第一喷射时间提前,并且在所述内燃机的发动机负荷高于所述预定负荷的运行范围中,所述燃烧控制装置将所述第一喷射中的燃料喷

射量保持在比在所述发动机负荷等于或低于所述预定负荷的运行范围中的所述第一喷射中的最大燃料喷射量小的固定量,并且将所述第一喷射时间保持在比在所述发动机负荷等于或低于所述预定负荷的运行范围中的最提前的第一喷射时间晚的固定时间。

用于内燃机的控制设备

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于内燃机的控制设备。

背景技术

[0002] 所谓的柴油燃烧具有比由火花点火导致的燃烧更高的热效率,在柴油燃烧中燃料被直接喷射到燃烧室中的压缩空气中、自燃并且通过扩散燃烧而燃烧。近年来,为了在汽油机中利用柴油燃烧的这一优点,已经开发了用于使汽油自燃并通过扩散燃烧而燃烧的技术。

[0003] 例如,在PTL1中公开的技术中,在压缩冲程的第一半程期间通过缸内喷射阀执行第一燃料喷射,以产生在整个燃烧室中的基本同类的空气-燃料混合物。然后,火花点燃通过第一燃料喷射产生的空气-燃料混合物。此后,执行第二燃料喷射以燃烧喷射的燃料。通过这种燃烧,燃烧室中的温度和压力升高以使剩余燃料自燃。

[0004] PTL2公开了使在有可能发生爆震的汽油机的相对较高的负荷运行范围中发生扩散燃烧的技术。在PTL2中公开的技术中,在有可能发生爆震的运行范围中,在压缩冲程的上死点之前的时间在气缸中执行第一燃料喷射,以通过火花点火燃烧喷射的燃料。然后,在压缩冲程的上死点之后的时间在气缸中执行第二燃料喷射(在这时,通过燃烧升高燃烧室中的压力),以通过扩散燃烧使喷射的燃料燃烧。在这个技术中,取决于发动机速度,在整个燃烧室中产生同类空气-燃料混合物的同类燃料喷射或仅在燃烧室的内部空间的一部分中产生空气-燃料混合物的分层燃料喷射被选择性地执行为第一燃料喷射。

[0005] PTL3公开了一种用于使用具有相对较高自燃温度的燃料天然气使柴油燃烧的技术。在PTL3中公开的技术中,在压缩冲程的早期阶段或中间阶段中的时间在燃烧室的指定火花点火区域中执行燃料喷射,以产生可被火花点火的空气-燃料混合物。紧在压缩冲程的上死点之前的时间点燃在该火花点火区域中产生的空气-燃料混合物。由此,在燃烧室中建立能使天然气自燃的高温高压条件。此后,在高温高压条件下将燃料直接喷射到燃烧室中,以通过柴油燃烧而燃烧。

[0006] [引文列表]

[0007] [专利文献]

[0008] [PTL1]日本专利申请公开No.2002-276442

[0009] [PTL2]日本专利申请公开No.2007-064187

[0010] [PTL3]日本专利申请公开No.2003-254105

发明内容

[0011] [技术问题]

[0012] 在具有像汽油一样相对较高的自燃温度的燃料通过柴油燃烧而燃烧的情况中,当喷射到燃烧室中的燃料量响应于发动机负荷的增加而增加时,存在可能局部出现氧气量相对于燃料不充分的情况而导致所产生的烟量增加的可能性。考虑到这个问题提出了本发

明,并且本发明的目的在于使用具有相对较高自燃温度的燃料在内燃机中带来具有减少的烟量的柴油燃烧。

[0013] [问题的解决方案]

[0014] 在根据本发明的设备中,在压缩冲程期间通过能够将燃料喷射到内燃机的燃烧室中的燃料喷射阀来执行第一喷射,并且通过火花点火来点燃由第一喷射喷射的燃料(其有时将被称为“第一喷射燃料”)。此后,在压缩冲程的上死点之前的时间开始第二喷射,该第二喷射主要确定内燃机的动力。因此,通过由第一喷射燃料的火花点火所产生的火焰来开始由第二喷射喷射的燃料(其有时将被称为“第二喷射燃料”)的燃烧,并且出现燃料的自燃和扩散燃烧。

[0015] 在根据本发明的设备中,在内燃机的发动机负荷高于预定负荷的运行范围中,除了第一喷射和第二喷射之外,还执行第三喷射。在压缩冲程期间的第一喷射之前的时间执行第三喷射。在开始第二喷射之后通过自燃或扩散燃烧来燃烧由第三喷射喷射的燃料(其有时将被称为“第三喷射燃料”)。在本发明的上下文中,术语“第一喷射”、“第二喷射”和“第三喷射”仅用于方便地在一个燃烧循环过程中执行的燃料喷射之间进行区分。

[0016] 更具体地,根据本发明的用于内燃机的控制设备包括:

[0017] 燃料喷射阀,所述燃料喷射阀能够将燃料喷射到内燃机的燃烧室中;

[0018] 点火装置,所述点火装置相对于所述燃料喷射阀的位置被设定成使得通过所述燃料喷射阀喷射的燃料喷雾穿过能点火区域并且所述点火装置能直接点燃所述燃料喷雾;以及

[0019] 燃烧控制装置,所述燃烧控制装置在压缩冲程期间的第一喷射时间通过所述燃料喷射阀执行第一喷射,通过所述点火装置点燃由所述第一喷射形成的预喷雾,并且在通过所述点火装置点燃所述预喷雾之后且在所述压缩冲程的上死点之前的第二喷射时间开始通过所述燃料喷射阀执行第二喷射,其中在所述第一喷射时间与所述第二喷射时间之间具有预定第一喷射间隔,所述第一喷射间隔被设定成使得通过由所述预喷雾的点火产生的火焰来开始由所述第二喷射喷射的燃料的燃烧,从而使燃料的自燃出现并且使由所述第二喷射喷射的一部分燃料通过扩散燃烧而燃烧,

[0020] 其中,在内燃机的发动机负荷高于预定负荷的运行范围中,除了所述第一喷射和所述第二喷射之外,所述燃烧控制装置还在所述压缩冲程期间在所述第一喷射时间之前的第三喷射时间执行第三喷射,其中所述第一喷射与所述第三喷射之间具有第二喷射间隔,所述第二喷射间隔被设定成使得通过所述第三喷射喷射的燃料在开始第二喷射之后通过自燃或扩散燃烧来燃烧。

[0021] 在根据本发明的设备中,点火设备相对于燃料喷射阀的位置被设定成使得点火设备可直接点燃经过的燃料喷雾,该燃料喷雾是通过燃料喷射阀喷射并且通过能点火区域的燃料喷雾。在已知的点燃燃料喷雾的典型模式中,通过当进气门打开时在燃烧室中形成的气流或利用位于活塞顶部上的腔体等的形状,将空气-燃料混合物带到点火装置的能点火区域,使得通过点火装置点燃燃料喷雾。在这种通常使用的点火模式中,为了能使燃料喷雾的点火令人满意,通过气缸中的活塞的位置以及进气门的打开时间和其他因素来限制通过喷射阀执行喷射的喷射时间。与此相反,在根据本发明的用于内燃机的控制设备中,由于燃料喷射阀和点火装置的相对位置如上所述地相对于彼此设定,所以燃料喷射时间和点火时

间的控制具有非常高的灵活性,使得能够通过燃烧控制装置进行燃料喷射的控制,这将在后文描述。优选地,本发明使用的点火装置适于能够不考虑进气门的打开时间或内燃机的活塞位置而在期望的时间直接点燃通过燃料喷射阀喷射的经过的燃料喷雾。

[0022] 在根据本发明的燃烧控制中,在压缩冲程期间在第一喷射时间执行第一喷射,并且通过点火装置点燃由第一喷射燃料形成的预喷雾。然后,在压缩冲程的上死点之前的第二点火时间开始第二点火之后,发生燃料的自燃和扩散燃烧。虽然在压缩冲程的上死点之前的时间开始第二喷射,但其可以持续经过上死点。

[0023] 第一喷射时间与第二喷射时间之间的间隔是预定第一喷射间隔。第一喷射间隔被设定成使得通过由预喷雾的点火产生的火焰开始第二喷射燃料的燃烧。换言之,第一点火时间不被设定为在压缩冲程期间的任意时间,而是相对于第二喷射时间被设定成使得第一喷射燃料的点火可产生作用于第二喷射燃料的燃烧的点火源的火焰。在第二喷射燃料的燃烧开始之后,燃烧室中的温度和压力升高,使得发生燃料的自燃,并且通过扩散燃烧来燃烧第二喷射燃料的至少一部分。在通过由点火装置的点火开始的燃烧中燃烧的燃料仅是第一喷射燃料的一部分,并且在开始第二喷射之后通过自燃或扩散燃烧来燃烧第一喷射燃料的大部分。因此,在上述燃烧控制中,第一喷射燃料和第二喷射燃料两者都带来内燃机的动力。因此,能够带来具有高热效率的柴油燃烧。

[0024] 在根据本发明的设备中,随着内燃机的发动机负荷增加,需要增加喷射到燃烧室中的燃料量。然而,由于在压缩冲程的上死点附近的时间(在此时燃烧室中的压力非常高)执行第二喷射,所以通过燃烧喷射阀喷射的燃料喷雾的穿透非常低。换言之,通过第二喷射喷射的燃料喷雾难于广泛地传播。因此,如果第二燃料喷射量增加得过多,则存在于第二喷射燃料的喷雾周围的氧气量或可用于第二喷射燃料的燃烧的氧气量相对于燃料量变得不充足,这可能导致产生的烟增加。

[0025] 如上面描述的,大部分的第一喷射燃料不通过由点火装置的点火而燃烧,而是在执行第二喷射时在燃烧室中剩余不燃烧。因此,随着第一燃料喷射量代替或与第二喷射燃料一起增加,在第二喷射时剩余在燃烧室中的第一喷射燃料的未燃烧残余物量也增加。然而,如果第一燃料喷射量增加得过多,则当执行第二喷射时,存在于燃烧室中的第一燃料的未燃烧残余物和第二燃料重叠(或共存)的区域周围的氧气量或可用于在该区域中存在的燃料的燃烧的氧气量相对于燃料量变得不充足,这可能导致产生的烟的增加。

[0026] 因此,如果第一喷射和/或第二喷射中的燃料喷射量增加得过多,则存在产生的烟量会增加的可能性。鉴于此,在根据本发明的设备中,在内燃机的发动机负荷高于预定负荷的运行范围中,除了第一喷射和第二喷射之外,燃烧控制装置还执行第三喷射。上述的预定负荷是发动机负荷的阈值,在该阈值以上,在一个燃烧循环中需要喷射到燃烧室中的燃料量相对较大并且第一燃料喷射量或第二燃料喷射量的增加可导致产生的烟量的增加。在压缩冲程期间的第一喷射时间之前的第三喷射时间执行第三喷射。第一喷射时间与第三喷射时间之间的间隔是预定第二喷射间隔。第二喷射间隔被确定成使得在开始第二喷射之后通过自燃或扩散燃烧来燃烧第三喷射燃料。在压缩冲程期间的第一喷射时间之前的时间段中,燃烧室中的压力相对较低。因此,喷射到燃烧室中的燃料倾向于广泛地传播。虽然通过第一喷射燃料的预喷雾的点火产生火焰,但在燃烧室中的远离火焰的位置处的燃料难于在由火焰开始的燃烧中燃烧。因此,适当地调节第一喷射时间与第三喷射时间之间的间隔能

够使在第一喷射之后未通过由预喷雾的点火产生的火焰燃烧的大部分第三喷射燃料在开始第二喷射之后通过自燃或扩散燃烧而燃烧。换言之，第三喷射时间不被设定为在压缩冲程期间的第一喷射时间之前的任意时间，而是相对于第一喷射时间被设定成使得在开始第二喷射之后可通过自燃或扩散燃烧来燃烧第三喷射燃料的至少一部分。由此，在开始第二喷射之后通过自燃或扩散燃烧来燃烧第三喷射燃料，使得不仅第一喷射燃料和第二喷射燃料而且第三喷射燃料也带来内燃机的动力。因此，即使当除了第一喷射和第二喷射还执行第三喷射时，也可带来具有高热效率的柴油燃烧。

[0027] 在执行第二喷射时，与第一喷射燃料的未燃烧残余物相比，第三喷射燃料已经在内燃机中更广泛地传播，这是因为第三喷射时间在第一喷射时间之前。因此，虽然在执行第二喷射时在燃烧室中存在第三喷射燃料，但与第一喷射燃料的未燃烧残余物相比，第三喷射燃料不太可能与第二喷射燃料重叠。因此，与第一喷射燃料和第二喷射燃料相比，第三喷射燃料不太可能引起烟。

[0028] 在发动机负荷高于预定负荷的运行范围中，在执行第三喷射的情况下，第一燃料喷射量和第二燃料喷射量中的至少一个可以小于在发动机负荷高于预定范围的运行范围中仅通过第一喷射和第二喷射而不执行第三喷射来喷射内燃机的发动机负荷要求的燃料量的情况。因此，能在减少的烟的情况下带来柴油燃烧。

[0029] 在根据本发明的设备中，在内燃机的发动机负荷高于预定负荷的运行范围中，燃烧控制装置响应于发动机负荷来增加第三燃料喷射量并使第三喷射时间提前。通过使第三燃料喷射量响应于发动机负荷的增加而增加，第一燃料喷射量的增加和第二燃料喷射量的增加可以变小。此外，使第三喷射时间提前导致第二喷射间隔的增加，该第二喷射间隔是第三喷射时间与第一喷射时间之间的间隔。因此，即使第三燃料喷射量增加，也可防止第三喷射燃料被在第一喷射之后由预喷雾的点火产生的火焰燃烧。第三喷射时间提前得越多，则在执行第三喷射时燃烧室中的压力越低，并因此，通过燃料喷射阀喷射的燃料喷雾的穿透就越高。换言之，通过第三喷射喷射的燃料喷雾趋于在燃烧室中更广泛地传播。因此，第三喷射燃料不可能引起烟。因此，在内燃机的发动机负荷较高的运行范围中，也可在具有减少的烟的情况下带来柴油燃烧。

[0030] 如上面描述的，内燃机的发动机负荷高于预定负荷的运行范围中，在第三喷射中的燃料喷射量响应于发动机负荷的增加而增加的情况下，响应于发动机负荷的增加的总燃料喷射量的增加的百分之五十或更多可以由第三喷射中的燃料喷射量的增加组成，并且总燃料喷射量的增加的剩余部分可以由在第一喷射和第二喷射中的至少一个喷射的燃料喷射量的增加组成。即使当内燃机的发动机负荷增加时，通过保持第一燃料喷射量和第二燃料喷射量的和的增加小于总燃料喷射量的增加的百分之五十，产生的烟量也可以保持较小。

[0031] 在根据本发明的设备中，在内燃机的发动机负荷高于预定负荷并执行第三喷射的运行范围中，燃烧控制装置可不考虑发动机负荷而将第二喷射中的燃料喷射量保持在固定量。在这种情况下，在内燃机的发动机负荷高于预定负荷的运行范围中，即使当发动机负荷增加时第二燃料喷射量也不增加，但第一燃料喷射量和第三燃料喷射量中的至少一个燃料喷射量增加。因此，可以防止由于第二燃料喷射量的增加所产生的烟量的增加。在根据本发明的燃烧控制中，必须在第二喷射之后发生燃料的自燃，如上文描述的。如果第二燃料喷射

量过大,则燃烧室中的温度被第二喷射燃料的蒸发潜热降低,这可能导致不稳定燃烧。在内燃机的发动机负荷高于预定负荷的运行范围中,通过不考虑发动机负荷而将第二喷射中的燃料喷射量保持在固定量,可以防止由于第二喷射燃料的蒸发潜热所引起的不稳定燃烧。

[0032] 在根据本发明的设备中,在发动机负荷高于预定负荷且执行第三喷射的运行范围中,燃烧控制装置可不考虑发动机负荷而将第一喷射中的燃料喷射量保持在固定量。在这种情况下,在内燃机的发动机负荷高于预定负荷的运行范围中,即使在发动机负荷增加时第一燃料喷射量也不增加,但第二燃料喷射量和第三燃料喷射量中的至少一个燃料喷射量增加。因此,可以防止由于第一燃料喷射量的增加所产生的烟量的增加。

[0033] 在内燃机的发动机负荷等于或低于预定负荷的运行范围中,燃烧控制装置可以响应于发动机负荷的增加而增加第一燃料喷射量并使第一喷射时间提前。使第一喷射时间提前有助于由第一喷射喷射的燃料喷雾的广泛扩散。因此,通过在增加第一燃料喷射量时使第一喷射时间提前,在执行第二喷射时剩余在燃烧室中的并受到自燃或扩散燃烧的第一喷射燃料的未燃烧残余物的量可以增加。因此,可以改进热效率。然而,与第三喷射燃料相比,第一喷射燃料更可能引起烟。因此,在发动机负荷高于预定负荷且执行第三喷射的运行范围中,可不考虑发动机负荷而将第一燃料喷射量保持在固定量,甚至在发动机负荷等于或低于预定负荷且不执行第三喷射的运行范围中第一燃料喷射量响应于发动机负荷的增加而增加的情况下也是如此。在这种情况下,第一燃料喷射量可保持在比在发动机负荷等于或低于预定负荷的运行范围中的第一燃料喷射量的最大值小的固定量,并且第一喷射时间可保持在比在发动机负荷等于或低于预定负荷的运行范围中的最提前第一喷射时间晚的固定时间。在这种情况下,在发动机负荷高于预定负荷的运行范围中,与在发动机负荷等于或低于预定负荷的运行范围中第一燃料喷射量保持于在第一燃料喷射量的最大值的情况相比,可使源自第一喷射燃料的烟量较小。

[0034] 在根据本发明的设备中,在燃烧控制装置适于在内燃机的发动机负荷高于预定负荷的运行范围中响应于发动机负荷的增加而增加第三喷射的燃料喷射量的情况下,预定负荷可以是与第一喷射中的燃料喷射量的上限值和第二喷射中的燃料喷射量的上限值的和对应的发动机负荷。第一喷射中的燃料喷射量的上限值和第二喷射中的喷射量的上限值被设定用于相应的燃料喷射作为喷射量,在该喷射量的情况下,源自第一/第二喷射燃料的烟量达到许用范围的上限。在预定负荷被设定成与第一喷射中的燃料喷射量的上限值和第二喷射中的燃料喷射量的上限值的和对应的发动机负荷的情况下,如果也在内燃机的发动机负荷高于预定负荷的运行范围中仅通过第一喷射和第二喷射而不执行第三喷射来引起柴油燃烧,则烟量将超过许用范围的上限。因此,在内燃机的发动机负荷高于预定负荷的运行范围中,第三喷射中的燃料喷射量响应于发动机负荷的增加而增加。由此,在将烟量保持在许用范围内的同时,可扩大引起柴油燃烧的运行范围。

[0035] [本发明的有益效果]

[0036] 根据本发明,可以使用具有相对较高自燃温度的燃料在内燃机中在烟量减少的情况下引起柴油燃烧。

附图说明

[0037] 图1是示出了应用本发明的实例的内燃机的进气和排气系统的总体构造的视图。

- [0038] 图2是示出了通过图1所示的内燃机所配备有的点火装置的点火模式的视图。
- [0039] 图3是示出了在本发明的实例中执行的基本燃烧控制的视图。
- [0040] 图4是示出了在执行根据本发明的实例的基本燃烧控制的情况下的燃烧室中的热释放率的变化图表。
- [0041] 图5是示出了在根据本发明的实例的基本燃烧控制中执行第一喷射的情况下的第一喷射燃料的燃烧效率与第一燃料喷射量之间关系的图表。
- [0042] 图6是示出了在根据本发明的实例的基本燃烧控制中对于不同模式在内燃机中的热释放率的变化,其中所述不同模式之间具有不同的第一燃料喷射量与第二燃料喷射量的比。
- [0043] 图7是示出了在根据本发明的实例的基本燃烧控制中的第一喷射间隔 $Di1$ 与内燃机的热效率之间关系的图表。
- [0044] 图8示出了在根据本发明的实例的基本燃烧控制中在第二喷射时间 Tm 固定在压缩冲程的上死点之前的指定时间并且第一喷射时间 Tp 改变的情况下所产生的烟量变化和热效率变化。
- [0045] 图9示出了在本发明的实例中在执行基本燃烧控制的情况与执行高负荷燃烧控制的情况之间的燃烧室中的热释放率变化的改变。
- [0046] 图10示出了与根据本发明的实例的高负荷燃烧控制中的第三燃料喷射量 Spp 中的变化有关的内燃机1的热效率变化和产生的烟量的变化。
- [0047] 图11是示出了根据本发明的实例1的燃烧控制的控制流程的一部分的流程图。
- [0048] 图12是示出了根据本发明的实例1的燃烧控制的控制流程的另一部分的流程图。
- [0049] 图13示出了在根据本发明的实例1的燃烧控制中使用的控制映射。
- [0050] 图14示出了在根据本发明的实例1的燃烧控制中使用的修改的控制映射。
- [0051] 图15是示出了根据本发明的实例2的燃烧控制的控制流程的一部分的流程图。
- [0052] 图16是示出了根据本发明的实例2的燃烧控制的控制流程的另一部分的流程图。
- [0053] 图17是示出了在根据本发明的实例2的燃烧控制中使用的控制映射。
- [0054] 图18示出了在根据本发明的实例2的燃烧控制中使用的修改的控制映射。

具体实施方式

[0055] 在下文中,将参考附图描述本发明的具体实施例。将结合实施例描述的部件的尺寸、材料、形状、相对布置以及其它特征并非旨在将本发明的技术范围仅限于此,除非特别声明。

[0056] [实例1]

[0057] 图1是示出了应用本发明的实例的内燃机的进气和排气系统的总体构造的视图。在图1中所示的内燃机1是具有多个气缸的四冲程循环火花点火内燃机(汽油发动机)。图1仅示出了多个气缸中的一个。

[0058] 在内燃机1的每个气缸2中,活塞3以可滑动的方式设置。活塞3通过连接杆4与输出轴(曲轴)联接,附图中未示出该输出轴。气缸2的内部与进气端口7和排气端口8连通。进气端口7的打开到气缸2内的端部通过进气门9打开/关闭。排气端口8的打开到气缸2内的端部通过排气门10打开/关闭。进气门9和排气门10分别被在附图中未示出的进气凸轮和排气凸

轮驱动以打开/关闭。

[0059] 而且,每个气缸2均设置有用将燃料喷射到气缸中的燃料喷射阀6。燃料喷射阀6布置在形成于气缸2中的燃烧室的顶部的中心处。此外,可点燃通过燃料喷射阀6喷射的燃料的火花塞5设置在内燃机1的气缸盖中。具体地,燃料喷射阀6具有喷射端口6a,燃料可通过该喷射端口在如图2所示的16(十六)个方向上几乎辐射状地喷射。火花塞5相对于燃料喷射阀6的位置被布置成使得从喷射端口6a喷射的至少一个燃料喷雾穿过火花塞5能够点火的区域5a,并且使得由此穿过这个区域5a的燃料喷雾可被在区域5a中的电极之间产生的火花直接点燃。火花塞5位于两个进气门9之间使得它不会干扰进气门9和排气门10的操作。根据本发明的设备中的点火装置的位置不限于两个进气门之间的位置。

[0060] 如上述构造的火花塞5和燃料喷射阀6可实施喷雾引导燃烧。换言之,火花塞5(其以能够直接点燃通过燃料喷射阀6喷射的燃料的方式布置)和燃料喷射阀6适于能够在任意期望时间点燃穿过区域5a的喷射燃料而不考虑内燃机1的进气门9的打开时间或活塞3的位置。空气引导燃烧和壁引导燃烧也已知为通过火花塞直接点燃通过燃料喷射阀喷射的燃料的传统燃烧方法。在空气引导燃烧中,通过燃料喷射阀喷射的燃料借助于通过进气门的打开而流动到燃烧室中的空气被运送到火花塞附近并且由火花塞点燃。在壁引导燃烧中,喷射燃料利用设置在活塞顶部上的腔体的形状被运送到火花塞附近并且由火花塞点燃。在空气引导燃烧和壁引导燃烧的情况下,除非达到用于打开进气门的预定时间并且预定活塞位置建立,否则难于执行燃料喷射和点火。与空气引导燃烧和壁引导燃烧相比,根据这个实例的喷雾引导燃烧允许非常灵活的燃料喷射和点火正时控制。在这个实例中,如图2所示,燃料喷射阀6和火花塞5被布置成使得从喷射端口6a喷射的一个燃料喷雾撞击火花塞5的电极。然而,火花塞5的能点火区域不限于电极之间的区域5a而也包括电极周围的区域。因此,不一定需要从喷射端口6a喷射的燃料喷雾撞击火花塞的电极。换言之,不一定需要火花塞5a定位成与从喷射端口6a的燃料喷射的方向成直线(即,在燃料喷雾的中心轴线上)。即使在从喷射端口6a喷射的燃料喷雾与火花塞5的电极偏置的情况下,只要燃料喷雾穿过能点火区域,也能引起通过在火花塞5的电极之间产生的火花启动的喷雾引导燃烧。因此,在这个实例中,需要将火花塞5相对于燃料喷射阀6的位置布置成使得能引起喷雾引导燃烧。因此,火花塞5可与从喷射端口6a的燃料喷射的方向(即,燃料喷雾的中心轴线)偏置。

[0061] 回到图1,进气端口7与进气通路70连通。进气通路70设置有节气门71。空气流量计72设置在节气门71上游的进气通路70中。另一方面,排气端口8与排气通路80连通。用于净化从内燃机1排放的排气的排气净化催化剂81设置在排气通路80中。如将在后文描述的,从内燃机1排放的排气具有比化学计量比稀薄的空燃比,并且能够去除具有这种稀薄的空燃比的排气中的NO_x的选择性催化还原NO_x催化剂以及能够捕获排气中的颗粒物(PM)的过滤器可被用作排气净化催化剂81。

[0062] 此外,电子控制单元(ECU)20附设于内燃机1。ECU20是控制内燃机1和排气净化设备等的操作状态的单元。ECU20与前述的空气流量计72、曲柄位置传感器21和加速器位置传感器22电连接,并且传感器的测量值被输入至ECU20。由此,ECU20可识别内燃机1的操作状态,诸如基于空气流量计71的测量值的进气量、基于曲柄位置传感器21的测量值计算的发动机速度以及基于加速器位置传感器22的测量值计算的发动机负荷。ECU20还与燃料喷射阀6、火花塞5和节气门71等电连接。这些部件由ECU20控制。

[0063] <基本燃烧控制>

[0064] 现将参考图3描述在具有上述构造的内燃机中进行的基本燃烧控制。图3 (a) 从图的左边到右边以时间顺序示意性地示出了在内燃机1中进行的燃烧控制中的燃料喷射和点火的过程 (见图3 (a) 的上行) 以及与被认为由于该燃料喷射和点火而在燃烧室中连续出现的与燃烧有关的现象 (见图3 (a) 的下行)。图3 (b) 示出了包括在图3 (a) 所示的燃料喷射中的第一喷射及第二喷射与在时间线上的点火之间的关系。图3所示的模型仅被给出作为示出了这个实例中的基本燃烧控制的原理图, 并且本发明不应被视为限于这个模型。

[0065] 在这个实例的基本燃烧控制中, 在一个燃烧循环中由燃料喷射阀6进行第一喷射和第二喷射。第一喷射是在压缩冲程期间进行的燃料喷射。第二喷射是在第一喷射之后且在压缩冲程的上死点 (TDC) 之前开始的燃料喷射。虽然在上死点之前开始第二喷射, 但它可持续经过上死点。如图3 (b) 所示, 第一喷射的开始时间 (后文中将简化表示为“第一喷射时间”) 由 T_p 表示, 并且第二喷射的开始时间 (在后文中将简化为“第二喷射时间”) 由 T_m 表示。第一喷射时间与第二喷射时间之间的间隔 ($T_m - T_p$) 被限定为第一喷射间隔 $Di1$ 。通过第一喷射的燃烧被执行为上述喷雾引导燃烧。也就是说, 使用火花塞5点燃由第一喷射喷射的燃料 (在下文中将被称为“第一喷射燃料”) 的预喷雾。该点火时间由 T_s 表示, 如图3 (b) 所示, 并且从第一喷射的开始到点火时间的间隔 ($T_s - T_p$) 被限定为点火间隔 Ds 。

[0066] 在下面, 将描述根据本发明的基本燃烧控制的过程。

[0067] (1) 第一喷射

[0068] 在基本燃烧控制中, 在一个燃烧循环中, 首先在压缩冲程期间在第一喷射时间 T_p 执行第一喷射。第一喷射时间 T_p 与第二喷射时间 T_m 关联地确定, 这将在后面进行描述。在执行第一喷射时, 通过燃料喷射阀6喷射的第一喷射燃料的预喷雾穿过燃烧室中的火花塞5的能点火区域5a, 如图2所示。紧在开始第一喷射之后, 第一喷射燃料的预喷雾未在燃烧室中广泛地扩散, 而是在喷雾喷射流的前端周围卷入空气同时, 通过喷射的穿透力而在燃烧室中进行。因此, 第一喷射燃料的预喷雾在燃烧室中产生分层的空气-燃料混合物。

[0069] (2) 第一喷射燃料的点火

[0070] 在从第一喷射时间 T_p 开始的预点火间隔 Ds 之后的点火时间 T_s 通过火花塞5点燃由此分层的燃料的预喷雾。如上面描述的, 由于第一喷射燃料被分层, 所以火花塞5周围的局部空燃比处于即使第一燃料喷射量 (即, 第一喷射燃料的量) 小也允许通过该点火而燃烧的水平。通过该点火, 引起第一喷射燃料的喷雾引导燃烧。换言之, 点火间隔 Ds 被设定成使得可引起喷雾引导燃烧。除了由通过活塞3的压缩效应引起的温度升高之外, 在燃烧室中还通过出现喷雾引导燃烧引起温度升高。然而, 通过喷雾引导燃烧所燃烧的燃料仅是第一喷射燃料的一部分, 并且第一喷射燃料的大部分未通过由火花塞5的点火所引起的燃烧而燃烧, 而是在点火之后剩余在燃烧室中作为“未燃烧残余燃料”。这是因为由第一喷射燃料形成的分层空气-燃料混合物的空燃比在相对远离火花塞的电极间区域的区域中很高使得火焰不能蔓延到这个区域中。然而, 未燃烧残余燃料暴露于起燃烧室中的第一喷射燃料的一部分的燃烧导致的高温环境。因此, 期望的是, 通过在不引起燃烧的条件下的低温氧化, 使至少一部分未燃烧残余燃料在其性能上重新形成具有改进的燃烧性。然而, 应注意的是, 在本发明的上下文中, 第一喷射燃料的未燃烧残余物指的是在由火花塞5的点火所引起的燃烧中未被燃烧的未燃烧状态下剩余在燃烧室中的一部分第一喷射燃料, 并且未燃

烧残余燃料不一定处于显示指定性能的状态中。

[0071] (3) 第二喷射

[0072] 在从第一喷射时间 T_p 的第一喷射间隔 $Di1$ 之后且在压缩冲程的上死点之前的第二喷射时间 T_m (换言之,在从由火花塞5的点火时间 T_s 起经过等于 $Di-D_s$ 的时间之后的时间 T_m)开始通过燃料喷射阀6的第二喷射。在这个内燃机1中,第二喷射燃料自燃并通过扩散燃烧而燃烧以带来发动机动力,如将在后面描述。因此,第二喷射时间 T_m 被设定成使得由发动机负荷和其他因素确定的一定量的第二喷射燃料的燃烧所获得的发动机动力几乎最大化。(这个喷射时间在后文中将被称为“适当喷射时间”)。通过由作为点火源的第一喷射燃料的预喷雾的点火所产生的火焰开始第二喷射燃料的燃烧。换言之,第一喷射间隔 $Di1$ 被设定成使得第二喷射时间 T_m 被设定为适当喷射时间并且使得通过由预喷雾的点火产生的火焰开始第二喷射燃料的燃烧。如果第二喷射时间 T_m 和第一喷射间隔 $Di1$ 以这种方式设定,则需确定第一喷射时间 T_p 。在第二喷射燃料的燃烧开始之后,燃烧室中的温度进一步升高。因此,第一喷射燃料的未燃烧残余物和第二喷射燃料在升高的温度场中自燃并且通过扩散燃烧而燃烧。与此关联地,在增强了第一喷射燃料的未燃烧残余物的可燃性的情况下,期望进一步促进在开始第二喷射之后的燃料的自燃。

[0073] 如上文描述的,在根据这个实例的基本燃烧控制中,通过第一喷射、点火和第二喷射引起上述一系列燃烧的发生。在本说明书中,能使得通过由第一喷射燃料的预喷雾的点火所产生的火焰开始第二喷射燃料的燃烧并且然后能使得第一喷射燃料的未燃烧残余物和第二喷射燃料自燃并通过扩散燃烧而燃烧的第一喷射和第二喷射之间的关系将被称为“第一-第二喷射关系”。换言之,根据这个实施例的基本燃烧控制适于通过第一喷射燃料的点火来执行处于第一-第二喷射关系中的第一喷射和第二喷射。

[0074] 图4示出了在执行根据这个实例的基本燃烧控制的情况下燃烧室中的热释放率的变化。图4示出了在内燃机1的发动机速度为2000rpm的情况下与四个不同控制模式L1至L4对应的热释放率的变化。在这些控制模式L1至L4中,虽然第一喷射时间 T_p 、第一燃料喷射量(即,第一喷射的持续时间)、第二喷射时间 T_m 和点火时间 T_s 在这些控制模式之中是相同的,但第二燃料喷射量(即,第二喷射的持续时间)在这些控制模式中是变化的。具体地,第二燃料喷射量被改变为例如 $L1>L2>L3>L4$ 。因此,图4示出了在建立第一-第二喷射关系的假定下由第二燃料喷射量的改变引起的热释放率的变化。

[0075] 在图4中,热释放率在由虚线包围的部分Z1中示出第一峰值。这个第一峰值表示通过由点火开始的第一喷射燃料的燃烧所产生的热(即,由喷雾引导燃烧产生的热)。在热释放率示出第一峰值的时间,尚未执行第二喷射,并且在燃烧室中呈现出通过第一喷射燃料的点火所产生的火焰和未燃烧残余燃料(其为第一喷射燃料的未通过点火而燃烧的部分)。现在,将参考图5描述第一喷射燃料的未燃烧残余物。图5示出了在根据基本燃烧控制执行第一喷射的情况下对于三种燃烧状态L5至L7的第一燃料喷射量与第一喷射燃料的燃烧效率(其在下文中将被称为“第一燃烧效率”)之间的关系。具体地,作为燃烧条件的第一喷射时间 T_p 和点火时间 T_s 以L5、L6和L7的顺序被提前,同时点火间隔 D_s 或时间 T_p 与时间 T_s 之间的间隔是固定的。图5示出了在仅执行第一喷射和点火而不执行第二喷射的情况下(即,在仅执行喷雾引导燃烧的情况下)的上述关系。

[0076] 第一燃烧效率和第一喷射燃料的未燃烧残余物率处于由下列等式1表示的关系。

具体地,燃烧效率越高,则未燃烧残余物率越低。

[0077] [公式1]

[0078] (预喷射燃料的未燃烧残余物率) = 1 - (预喷射燃料的燃烧效率)

[0079] (等式1)

[0080] 参考图5,如果第一喷射时间 T_p 和点火时间 T_s 被提前(即,第一喷射间隔 $Di1$ 增加)同时第一燃料喷射量固定,则第一喷射燃料的燃烧效率趋于减小,并且因此未燃烧残余物率趋于增加。相反,即使第一燃料喷射量变化,也能够通过调节第一喷射时间 T_p 和点火时间 T_s 的提前程度来保持第一喷射燃料的燃烧效率和未燃烧残余物率恒定。如上面描述的,根据这个实例的基本燃烧控制可以通过控制燃料喷射量、第一喷射时间 T_p 和点火时间 T_s (即,第一喷射间隔 $Di1$)来控制第一喷射燃料的未燃烧残余物率,第一喷射燃料的未燃烧残余物率为第一-第二喷射关系的一个因素。

[0081] 参考图4,在热释放率示出第一峰值的时间之后且在压缩冲程的上死点之前的时间开始第二喷射。然后,如前面描述的,通过由第一喷射燃料的预喷雾的点火所产生的火焰点燃第二喷射燃料以开始燃烧,并且此后,与第一喷射燃料的未燃烧残余物一起自燃以通过扩散燃烧而燃烧。因此,在压缩冲程的上死点之后的时间出现热释放率的第二峰值(其为最高峰值)。在图4所示的情况下,随着第二燃料喷射量增加(即,随着第二喷射的持续时间增加),热释放率的第二峰值的值增加,并且第二峰值出现的时间变得更晚。这意味着随着第二燃料喷射量增加,第二喷射燃料的燃烧的持续时间增加。从此可推测出,第二喷射燃料和第一喷射燃料的未燃烧残余物受到扩散燃烧或可被视为与扩散燃烧基本等同的燃烧。

[0082] 将参考图6描述在根据这个实例的基本燃烧控制中出现的燃料的自燃。图6示出了对于两个模式L8和L9的在燃烧室中的热释放率的变化,这两个模式之间第一燃料喷射量与第二燃料喷射量的比是不同的,同时在一个燃烧循环中的总喷射量(即,第一燃料喷射量和第二燃料喷射量的总和)保持恒定。在图6所示的情况下,内燃机1的发动机速度为2000rpm。第一燃料喷射量的比例在模式L9中比在模式L8中更大。换言之,第一燃料喷射量在模式L9中比在模式L8中更大,并因此,第一喷射燃料的未燃烧残余物也在模式L9中比在模式L8中更大。如将在图6中可见,在压缩冲程的上死点之后出现的热释放率的第二峰值的值在模式L9中比在模式L8中更大。此外,从热释放率的第二峰值的下降率(或图表中的曲线在第二峰值之后的斜率)在模式L9中比在模式L8中更大。可以推测出:上述事实指出,在开始第二喷射之后,第一喷射燃料的未燃烧残余物和第二喷射燃料的由自燃引起的燃烧(即,通过自燃燃烧的燃料的比例更大且通过扩散燃烧燃烧的燃料的比例更小)在模式L9中比在模式L8中更被促进。从此可以看出,第一喷射燃料的未燃烧残余物有助于在第二喷射之后促进自燃。本发明的发明人证实,在这个实例的基本燃烧控制中,在通过控制第一喷射时间 T_p 和点火时间 T_s 以及第一燃料喷射量使第一喷射燃料的未燃烧残余物增加的情况下也促进在第二喷射之后的燃料的自燃。总之,在根据这个实例的基本燃烧控制中,通过控制与第一喷射和点火有关的参数以增加未燃烧残余物率,能够促进在第二喷射开始之后使第一喷射燃料的未燃烧残余物和第二喷射燃料中的自燃。

[0083] 如上面描述的,在根据这个实例的基本燃烧控制中,通过在由第一喷射和由火花塞5的点火所引起的喷雾引导燃烧之后执行第二喷射,引起燃料的自燃和扩散燃烧发生。因此,由基本燃烧控制引起的燃烧类似于被称为柴油燃烧的燃烧或者可被视为基本等同于柴

油燃烧。因此,允许燃烧室中的空气-燃料混合物的空燃比非常高或稀薄(在近似20到70之间的范围中)。为了以这种稀薄的空燃比引起燃烧,在根据这个实例的燃烧控制中,节气门71打开的程度大于用于汽油发动机的传统燃烧控制(同类的化学计量控制)的情况。因此,可使内燃机中的泵损失较小。此外,由于通过自燃和扩散燃烧引起有助于发动机动力的燃烧,所以可使内燃机1中的冷却损失小于同类的化学计量控制的情况。因此,根据这个实例的基本燃烧控制可获得不能由用于汽油发动机的传统燃烧控制获得的高热效率。

[0084] <第一-第二喷射关系>的描述

[0085] 下面,将具体描述第一燃料喷射量、第二燃料喷射量和第一喷射间隔,它们是用以确立前述第一-第二喷射关系的相关技术因素。

[0086] 第二喷射时间被设定为使内燃机1的发动机动力几乎最大化的适当喷射时间。因此,可通过增加第二燃料喷射量来一定程度地获得由发动机负荷的增加的所要求的发动机动力。然而,由于在压缩冲程的上死点附近的时间(此处,燃烧室中的压力非常高)执行第二喷射,所以由燃料喷射阀6喷射的燃料喷雾的穿透性非常低。换言之,由第二喷射喷射的燃料喷雾难于广泛地扩散。为此,如果第二燃料喷射量增加得过多,则在第二喷射燃料的喷雾周围存在的氧气量或可用于第二喷射燃料的燃烧的氧气量相对于燃料量不充分,这可能导致所产生的烟量的增加。此外,在根据这个实例的基本燃烧控制中,必须在第二喷射之后发生燃料的自燃。如果第二燃料喷射量过大,则存在燃烧室中的温度可能被第二喷射燃料的蒸发潜热降低以使燃烧不稳定的可能性。

[0087] 另一方面,在压缩冲程期间的第一喷射时间 T_p 执行第一喷射。因此,由火花塞5点燃的第一喷射燃料的燃烧可被认为反作用于内燃机1的发动机动力。然而,在由点火引起的第一喷射燃料的预喷雾的燃烧中要求的仅仅是产生用作用于第二喷射燃料的燃烧的点火源的火焰。因此,由点火所引起的燃烧中燃烧的燃料仅是第一喷射燃料的一部分。因此,反作用于发动机动力的第一喷射燃料的喷雾引导燃烧的效果很小。在由火花塞5的点火所引起的燃烧中未燃烧的第一喷射燃料的未燃烧残余物在第二喷射之后与第二喷射燃料一起在自燃和扩散燃烧中燃烧,以有助于发动机动力。因此,通过增加第一燃料喷射量并增加其未燃烧残余物率,能一定程度地获得由发动机负荷的增加所要求的发动机动力。

[0088] 如前面描述的,第一喷射间隔 $Di1$ (其为在根据这个实例的基本燃烧控制中的第一喷射时间与第二喷射时间之间的间隔)被设定成使得通过由第一喷射燃料的预喷雾的点火所产生的火焰来开始第二喷射燃料的燃烧。此外,考虑总燃烧的热效率、第一喷射燃料的未燃烧残余物量以及产生的烟量来确定第一喷射间隔 $Di1$ 。

[0089] 图7示出了第一喷射间隔 $Di1$ 与内燃机1的热效率之间的关系。图7示出了在第一喷射间隔 $Di1$ 改变而第一燃料喷射量、第二燃料喷射量和点火间隔 Ds 固定的情况下的这种关系。

[0090] 在这个实例中,第一喷射以及继其之后的第二喷射通过一个燃料喷射阀6执行。由于其机械结构,燃料喷射阀总体上具有可在连续执行多次喷射中设定的最小喷射间隔。在图7中,由于燃料喷射阀的6的机械限制而不可实行的第一喷射间隔的范围(即, $Di1$ 在 $Di1a$ 以下的范围)被表示为机械限制范围 $R1$ 。另一方面,随着第一喷射间隔 $Di1$ 增加,在更接近于由第一喷射燃料的点火所开始的燃烧过程的结束的时间执行第二喷射。在接近于燃烧过程结束的时间段中,由于第一喷射燃料的燃烧即将结束,所以难于通过由第一喷射燃料的燃

烧所产生的火焰来开始第二喷射燃料的燃烧。为此,如果第一喷射间隔 $Di1$ 过大,则存在可能不能够燃烧第二喷射燃料的可能性,这会导致点火不良。在图7中,第一喷射间隔 $Di1$ 的有很大可能出现点火不良的范围(即, $Di1$ 的在 $Di1b$ 以上的范围)被表示为点火不良出现范围 $R2$ 。点火不良出现范围 $R2$ 的下边界(图7中的 $Di1b$)根据第一燃料喷射量而改变。如果第一燃料喷射量增加,则由点火开始的第一喷射燃料的燃烧的持续时间将持续较长时间段。然后,第二喷射燃料可在较长的第一喷射间隔 $Di1$ 的情况下被燃烧。

[0091] 如上所述,考虑到热效率,优选地将第一喷射间隔 $Di1$ 设定为 $Di1x$, $Di1x$ 落在由下边界 $Di1a$ 和上边界 $Di1b$ 限定的范围 Rd 中并且在 $Di1x$ 处内燃机1的热效率具有其在图7中的峰值。

[0092] 如前面描述的,在根据这个实例的基本燃烧控制中,第二喷射燃料的燃烧通过由第一喷射燃料的燃烧所产生的火焰而开始,并且第二喷射燃料自燃并与第一喷射燃料的未燃烧残余物一起通过扩散燃烧而燃烧。在第二喷射燃料的燃烧的早期,由第一喷射燃料燃烧所产生的火焰和第一喷射燃料的未燃烧残余物不均匀地分布在燃烧室中,并且未促进在燃烧室中的第二喷射燃料和空气的混合。因此,如果在执行第二喷射时第一喷射燃料的未燃烧残余物和第二喷射燃料在燃烧室中重叠,则存在于重叠区域周围的氧气量或可用于重叠区域中的燃料燃烧的氧气量相对于燃料量可能不充足,并且有可能产生烟。烟的产生表明未在良好的条件下进行燃烧。由此,所产生的烟量越大,则热效率趋于越低。为了减少烟的产生,有必要减少第一喷射燃料的未燃烧残余物和第二喷射燃料的重叠。然而,如上所述,第二喷射时间被设定为在压缩冲程的上死点之前的适当喷射时间,以便改进内燃机1的热效率。因此,为了减少第一喷射燃料的未燃烧残余物和第二喷射燃料的重叠(这趋于产生烟),优选地在将第二喷射时间设定为适当喷射时间的同时调节第一喷射间隔 $Di1$,即,优选地调节第一喷射时间。

[0093] 图8示出了对于三个模式(见图8的图(a))的产生的烟量与第一喷射时间 Tp 之间的关系(见图8中的图(b))以及热效率与第一喷射时间 Tp 之间的关系(见图8的图(c)),其中,第一燃料喷射量与第二燃料喷射量的比例是可变的,而第一喷射燃料和第二喷射燃料的总量是固定的,其中第二喷射时间 Tm 被固定在压缩冲程的上死点之前的预定时间并且第一喷射时间 Tp 是可变的。点火间隔 Ds (即,从第一喷射时间 Tp 到点火时间 Ts 的时间长度)在所有模式中是相同的。在相应的模式1至3中,第一燃料喷射量与第二燃料喷射量之间的关系如下:

[0094] 模式1:第一燃料喷射量= $X1$,第二燃料喷射量= $Y1$,

[0095] 模式2:第一燃料喷射量= $X2$,第二燃料喷射量= $Y2$,

[0096] 模式3:第一燃料喷射量= $X3$,第二燃料喷射量= $Y3$,

[0097] 其中 $X1 > X2 > X3$ 并且 $Y1 < Y2 < Y3$

[0098] 在图8的图(b)中,模式1中的烟量的变化被表示为 $L11$,模式2中的烟量的变化被表示为 $L12$,并且模式3中的烟量的变化被表示为 $L13$ 。在图8的图(c)中,模式1的热效率的变化被表示为 $L14$,模式2中的热效率的变化被表示为 $L15$,模式3中的热效率的变化被表示为 $L16$ 。在图8的图(b)和图(c)中,模式1中的烟和热效率的测量点被表示为圆形,模式2中的烟和热效率的测量点被表示为三角形,并且模式3中的烟和热效率的测量点被表示为菱形。在使热效率在相应模式中最高第一喷射时间 Tp 的烟和热效率的测量点被表示为实心黑色

圆形、三角形和菱形。

[0099] 这里,我们考虑将模式3转换成模式2然后转换成模式1,同时关注上述实心黑色测量点。如我们可见的,通过增加第一燃料喷射量并提前第一喷射时间 T_p ,能够将内燃机1的热效率保持在最高水平周围,同时减少或保持所产生的烟量(见图8中的图(b))。如果第一燃料喷射量和第二燃料喷射量的总和相同,则增加第一燃料喷射量必然导致第二燃料喷射量的减少。然而,当第一燃料喷射量增加时使第一喷射时间 T_p 提前,能够增加第一喷射燃料的未燃烧残余物(即,能够增加未燃烧残余物率)。考虑到这归因于,如果第一喷射时间提前,则在燃烧室中的压力较低时执行第一喷射,并因此,第一喷射燃料的预喷雾的穿透相对较高以促进第一喷射燃料在燃烧室的扩散。由此,由于第一喷射燃料在燃烧室中更加广泛地扩散,所以由点火所产生的火焰未传播至的未燃烧残余燃料的量增加。因此,较大量的未燃烧残余燃料经受自燃并且在开始第二喷射之后与第二喷射燃料一起经受扩散燃烧。因此,由于第二燃料喷射量的减少所引起的输出动力的减小可由通过第一喷射燃料的未燃烧残余物燃烧所提供的动力的增加来补偿。此外,第一喷射燃料在燃烧室中的广泛扩散可减小在第二喷射之后的第一喷射燃料的未燃烧残余物和第二喷射燃料的重叠。因此,由于第一喷射燃料的未燃烧残余物和第二喷射燃料的重叠所引起的烟的产生也可减小。由此,通过增加第一燃料喷射量并且使第一喷射时间 T_p 提前,能够减少所产生的烟量同时将内燃机1的热效率保持在令人满意的水平。

[0100] 从图8中的图(c)将理解到的是,如果假设根据模式1至3执行第一喷射,同时将第一喷射时间 T_p 固定于例如在模式3中获得最高热效率的时间 T_a ,则随着第一燃料喷射量增加,所产生的烟量增加并且内燃机1的热效率减小。也将从这个事实理解到的是,控制第一喷射的上述方式(其中,喷射时间 T_p 随着第一燃料喷射量的增加而提前)在减少烟和改进热效率方面是有效的。

[0101] <高负荷燃烧控制>

[0102] 在下面,将描述在根据这个实例的内燃机1中的高负荷操作期间的燃烧控制。在根据这个实例的内燃机1中,当发动机负荷增加时,必须增加喷射到燃烧室中的燃料量。然而,如上面描述的,如果第二燃料喷射量增加得过多,则存在烟量增加和/或通过第二喷射燃料的蒸发潜热使燃烧室中的温度降低而使燃烧不稳定的可能性。如上面描述的,当第一燃料喷射量增加时,能够通过使第一喷射时间 T_p 提前(即,由此通过增加第一喷射间隔 $Di1$)来减少产生的烟量。然而,如图7所示,第一喷射间隔 $Di1$ 具有上边界(图7中的 $Di1b$),这是因为由第一喷射燃料的点火所产生的火焰必须用作用于第二喷射燃料的燃烧的点火源。如果第一燃料喷射量进一步增加而第一喷射间隔 $Di1$ 保持在前述上边界,则当执行第二喷射时第一喷射燃料的未燃烧残余物和第二喷射燃料倾向于重叠。因此,如果第一燃料喷射量增加得过多,则存在产生的烟量可能增加的可能性。鉴于此,在根据这个实例的内燃机1中,在一个燃烧循环中要求喷射到燃烧室中的燃料量相对较大的高负荷范围中,除了在上述基本燃烧控制中执行的第一燃料喷射和第二燃料喷射之外,也执行通过燃料喷射阀6的第三喷射。

[0103] 在压缩冲程期间的第一喷射时间之前的第三喷射时间执行第三燃料喷射,其中在第三喷射时间与第一喷射时间之间具有第二喷射间隔 $Di2$ 。第二喷射间隔 $Di2$ 被设定成使得由第三喷射喷射的燃料(后文将被称为第三喷射燃料)在开始第二喷射之后通过自燃或扩散燃烧而燃烧。在下文中,除了基本燃烧控制之外还执行第三喷射的燃烧控制将被称为“高

负荷燃烧控制”。

[0104] 图9示出了在执行基本燃烧控制的情况下以及在执行高负荷燃烧控制的情况下在燃烧室中的热释放率的变化。图9中的图(a)示出了当在相应的燃烧控制中执行燃料喷射和点火时的情况。在图9的图(b)中,曲线L17表示在执行基本燃烧控制的情况下的热释放率的变化,并且曲线L18表示在执行高负荷燃烧控制的情况下的热释放率的变化。在图9所示的情况下,一个燃烧循环中的喷射量的总和在两种燃烧控制中是相同的。由此,第二燃料喷射量在高负荷燃烧控制中小于在基本燃烧控制中。在高负荷燃烧控制中,通过第三喷射来喷射与第二燃料喷射量同在基本燃烧控制的情况中的第二燃料喷射量的差相等的燃料量。在图9所示的情况下,内燃机1的发动机速度为2000rpm。

[0105] 由于第三喷射时间 T_{pp} 是在压缩冲程期间的第一喷射时间 T_p 之前,所以在第三喷射时间 T_{pp} 的燃烧室中的压力低于在第一喷射时间 T_p 的燃烧室中的压力。因此,第三喷射燃料的喷雾的穿透相对较高,并因此,第三喷射燃料趋于在燃烧室中比第一喷射燃料更广泛地扩散。因此,如果第二喷射间隔 Di_2 被适当地设定,则能够防止第三喷射燃料的更多部分被由第一喷射燃料的喷雾的点火所产生的火焰燃烧,并能使其在开始第二喷射之后通过自燃或扩散燃烧而燃烧。在图9的图(b)中,热释放率L18的第一峰值(其为归因于由第一喷射燃料的预喷雾的点火所引起的燃烧的热释放率的峰值)在其出现时间和大小上与热释放率L17的第一峰值基本相同。可以推断出第三喷射燃料未在第一喷射燃料的预喷雾的点火时燃烧。

[0106] 考虑到在开始第二喷射之后通过自燃或扩散燃烧而燃烧的第三喷射燃料在燃烧中以与第一喷射燃料的未燃烧残余物相同的方式起作用。在图9的图(b)中,热释放率L18的第二峰值(或在压缩冲程的上死点之后出现的热释放率的最大峰值)高于热释放率L17的第二峰值。此外,从热释放率的第二峰值的下降率(即,曲线在第二峰值之后的斜率)在L18中比在L17中更大。从此也可以推测出第三喷射燃料有助于促进燃料在第二喷射之后的自燃,正如第一喷射燃料的未燃烧残余物一样。

[0107] 由于第三喷射时间是在第一喷射时间之前,所以当执行第二喷射时第三喷射燃料在燃烧室中比第一喷射燃料的未燃烧残余物更广泛地扩散。因此,虽然在执行第二喷射时第三喷射燃料存在于燃烧室中,但与第一喷射燃料的未燃烧残余物相比,第三喷射燃料不太可能与第二喷射燃料重叠。因此,与第一喷射燃料和第二喷射燃料相比,第三喷射燃料不太可能引起烟。

[0108] 在执行第三喷射的情况下,能使第一燃料喷射量和第二燃料喷射量中的至少一个小于仅通过第一喷射和第二喷射喷射的由内燃机的发动机负荷所要求的燃料量的情况。因此,执行第三喷射可减少源自第一喷射燃料或第二喷射燃料的烟量。图10示出了在高负荷燃烧控制中内燃机1的热效率与第三燃料喷射量之间的关系(图10中的图(a))以及产生的烟量与第三燃料喷射量之间的关系(图10中的图(b)),其中第三燃料喷射量是可变的,而通过一个燃烧循环中的所有喷射的总喷射量是固定的。在图10所示的情况下,第三燃料喷射量的增加由第二燃料喷射量的减少所抵消。在图10所示的情况下,第一燃料喷射量是固定的。从图10的图(a)可见的是,如果在高负荷燃烧控制中第三燃料喷射量增加,则发动机1的热效率保持几乎恒定。这还示出了第三喷射燃料的大部分有助于在开始第二喷射之后的燃烧。从图10的图(b)可见的是,在高负荷燃烧控制中的第三燃料喷射量的增加会导致产生的

烟量的减少。这还示出了第三喷射燃料不可能引起烟。

[0109] 因此,在根据这个实例的内燃机1中,在高负荷操作状态下(在高负荷操作状态中总燃料喷射量较大)执行如上所述的高负荷燃烧控制,借此在高负荷操作状态中,与通过基本燃烧控制相比,能够在减少的烟的情况下引起柴油燃烧的发生。

[0110] <燃烧控制流程>

[0111] 在下面,将参考图11至13描述根据这个实例的燃烧控制的控制流程。图11和12是根据这个实例的燃烧控制的控制流程的流程图。这个控制流程预先存储在ECU20中并且在内燃机1运行时通过执行存储在ECU20中的控制程序来以规定的间隔重复实施。

[0112] 图13示出了在根据这个实例的燃烧控制中使用的示例性控制映射。在图13的上图(a)中,线L21表示内燃机1的发动机负荷与第一燃料喷射量之间的关系,线L22表示发动机负荷与第二燃料喷射量之间的关系,线L23表示发动机负荷与第三燃料喷射量之间的关系,并且线L20表示发动机负荷与负荷适应喷射量(其为适于发动机负荷的燃料量)之间的关系。此外,图13的上图(a)还示出了未在由火花塞5的点火所引起的燃烧中燃烧的第一喷射燃料的未燃烧残余物量M1。在图13的上图(a)中,S1是与运行范围R3(在下文中将被描述为下负荷范围R3)与另一运行范围R4(在下文中将被描述为第一中间负荷范围R4)之间的边界上的发动机负荷对应的燃料喷射量。这个燃料喷射量S1在下文中将被称为第一预定量S1。而且,S2(>S1)是同第一中间范围R4与另一运行范围R5(在下文中将被称为第二中间负荷范围R5)之间的边界上的发动机负荷对应的燃料喷射量。这个燃料喷射量S2在下文中将被称为第二预定量S2。而且,S3(>S2)是同第二中间负荷范围R5与另一运行范围R6(在下文中将被称为高负荷范围R6)之间的边界上的发动机负荷对应的燃料喷射量。这个燃料喷射量S3在下文中将被称为第三预定量S3。在这个实例中,当内燃机1的发动机负荷落在低负荷范围R3、第一中间负荷范围R4或第二中间负荷范围R5中时,执行上述基本燃烧控制。另一方面,当发动机负荷落在高负荷范围R6中时,执行上述高负荷燃烧控制。由此,在这个实例中,第二中间负荷范围R5与高负荷范围R6之间的边界上的发动机负荷是如本发明中定义的“预定负荷”。稍后将描述不同负荷范围的细节。

[0113] 在图13的下图(b)中,线L31表示内燃机1的发动机负荷与第一喷射时间 T_p 之间的关系,线L30表示发动机负荷与点火时间 T_s 之间的关系,线L32表示发动机负荷与第二喷射时间 T_m 之间的关系,并且线L33表示发动机负荷与第三喷射时间 T_{pp} 之间的关系。线L31与线L32之间的距离表示第一喷射间隔 $Di1$,线L31与线L30之间的距离表示点火间隔 Ds ,并且线L33与线L31之间的距离表示第二喷射间隔 $Di2$ 。图13的图(b)的竖直线表示从压缩冲程的上死点的曲柄角,其中较大的值表示在压缩冲程期间的较早时间。

[0114] 在根据这个实例的控制流程中,首先在步骤S101,基于加速器位置传感器22的测量值计算内燃机的发动机负荷。可替换地,可基于进气通路70中的空气流量(即,空气流量计72的测量值)或进气通路70中的进气压力计算内燃机1的发动机负荷。然后在步骤S102,基于步骤S101中计算出的发动机负荷计算负荷适应喷射量 S_0 。具体地,使用由图13的图(a)中的线L20表示的控制映射计算适于发动机负荷的负荷适应喷射量 S_0 。在这个实例中,发动机负荷与负荷适应喷射量 S_0 之间的关系被记录在控制映射中,在该控制映射中负荷适应喷射量 S_0 随着发动机负荷的增加而增加,如由线L20表示。

[0115] 然后,在步骤S103中,使用图13的图(b)中的线L32表示的控制映射确定第二喷射

时间 T_m 。如上面描述的,为了改进内燃机1的热效率,第二喷射时间 T_m 被设定为在压缩冲程的上死点之前的适当喷射时间。内燃机1的适当喷射时间已通过先前对于发动机负荷的每个值进行的实验所测量,并且已基于测量结果准备由线L32表示的控制映射。第二喷射时间 T_m 随着发动机负荷向上增加至某一发动机负荷而逐渐被提前。然而,在第二中间负荷范围R5和高负荷范围R6中(即,在负荷适应喷射量 S_0 等于或大于 S_2 的范围中),提前的程度被保持在上限值。这是因为根据第二燃料喷射量 S_m 确定第二喷射时间 T_m ,其中第二燃料喷射量 S_m 在第二中间负荷范围R5和高负荷范围R6中被固定于最大第二燃料喷射量 S_{mmax} ,如将在后面描述的。

[0116] 然后,在步骤S104中,判定在步骤S102中计算出的负荷适应喷射量 S_0 是否等于或小于第一预定量 S_1 ,换言之,判定内燃机1的发动机负荷是否处于低负荷范围R3。低负荷范围R3被限定为如下运行范围:其中,负荷适应喷射量很小而使得即使仅第二燃料喷射量 S_m 相应于发动机负荷的增加而增加,烟量增加的可能性以及由于第二喷射燃料的蒸发潜热所引起的不稳定燃烧的可能性也是低的。如果在步骤S104中做出的判定是肯定的,则接下来执行步骤S105的处理。如果在步骤S104中做出的判定是否定的,则接下来执行步骤S110的处理。

[0117] 如果在步骤S104中做出的判定是肯定的,即,如果负荷适应喷射量 S_0 等于或小于第一预定量 S_1 (换言之,如果内燃机1的发动机负荷处于低负荷范围R3),则基于由图13的图(a)中的线L21表示的控制映射将第一燃料喷射量 S_p 设定为最小第一燃料喷射量 S_{pmin} 。最小第一燃料喷射量 S_{pmin} 是能产生用作用于在执行第二喷射时开始第二喷射燃料的燃烧的点火源的火焰的第一燃料喷射量的最小值。如果第一燃料喷射量 S_p 是大的,则促进了通过由火花塞5的点火所引起的燃烧(即,喷雾引导燃烧),并因此,第一喷射燃料的未燃烧残余物率可变小。将第一燃料喷射量 S_p 设定为最小第一燃料喷射量 S_{pmin} 可使得未燃烧残余物率尽可能地高。因此,在低负荷范围R3中,第一燃料喷射量 S_p 被设定为最小第一燃料喷射量 S_{pmin} 。由此,能够获得高热效率同时确保稳定燃烧。如上文描述的,在低负荷范围R3中,仅第二燃料喷射量 S_m 相应于发动机负荷的增加而增加,并且在低负荷范围R3中,第一燃料喷射量 S_p 固定于最小第一燃料喷射量 S_{pmin} ,如由图13的图(a)中的线L21表示。

[0118] 然后,在步骤S106中,使用由图13的图(b)中的线L31表示的控制映射来确定第一喷射时间 T_p 。在这个处理步骤中,与在步骤S103中设定的第二喷射时间 T_m 相关联地确定第一喷射时间 T_p 从而设定适当的第一喷射间隔 $Di1$,通过该第一喷射间隔 $Di1$,在第一燃料喷射量 S_p 是最小第一燃料喷射量 S_{pmin} 时获得令人满意的热效率。如上面描述的,在低负荷范围R3中,第一燃料喷射量 S_p 固定于最小第一燃料喷射量 S_{pmin} 。因此,第一喷射间隔 $Di1$ 在低负荷范围R3中也保持恒定。因此,在低负荷范围R3中,当第二喷射时间 T_m 响应于发动机负荷的变化而变化时,第一喷射时间 T_p 也根据第二喷射时间 T_m 的变化而变化。

[0119] 然后,在步骤S107中,使用图13的图(b)中的线L30表示的控制映射来确定点火时间 T_s 。如图13的图(b)所示,点火间隔 D_s (其为第一喷射时间 T_p 与点火时间 T_s 之间的间隔)保持恒定。因此,在低负荷范围R3中,当第一喷射时间 T_p 根据第二喷射时间 T_m 的变化而变化时,点火时间 T_s 也根据第一点火时间 T_p 的变化而变化。

[0120] 然后,在步骤S108中,使用图13的图(a)中的线L22表示的控制映射来确定第二燃料喷射量 S_m 。在低负荷范围R3中,发动机负荷(负荷适应喷射量 S_0)与第二燃料喷射量 S_m 之

间的由线L22表示的关系由下列等式2表达:

[0121] [公式2]

[0122] $S_m = S_0 - S_p \times \alpha$ (等式2)

[0123] 其中, α 是第一喷射燃料的未燃烧残余物率。

[0124] 如前面描述的,在根据这个实例的基本燃烧控制中,第一喷射燃料的未燃烧残余物自燃并与第二喷射燃料一起通过扩散燃烧而燃烧以带来发动机动力。因此,在带来发动机动力方面,一部分第一喷射燃料或第一喷射燃料的未燃烧残余物可被认为等同于第二喷射燃料。因此,可通过由实验提前确定表示第一喷射燃料的未燃烧残余物率的因数 α 并根据考虑了因数 α 的上述等式2计算第一燃料喷射量 S_m 来确定第一燃料喷射量 S_m 的适当值。第一喷射燃料的未燃烧残余物率根据点火间隔 D_s 和第一喷射间隔 D_{i1} 而变化。因此,基于它们来确定因数 α 的值。在低负荷范围R3中,由于点火间隔 D_s 和第一喷射间隔 D_{i1} 两者都是恒定的,所以上述等式2中的因数 α 也是恒定值。此外,在低负荷范围R3中,第一燃料喷射量 S_p 由于上述原因固定于最小第一燃料喷射量 S_{pmin} ,并因此在上述等式2中 $S_p = S_{pmin}$ 。在通过由火花塞5的点火所燃烧的燃料的量(即,通过喷雾引导燃烧所燃烧的燃料的量)相对于第一燃料喷射量非常小的情况下,在控制处理中因数 α 可被设定为等于1。在这种情况下,以使总喷射量等于负荷适应喷射量的方式执行控制。在完成步骤S108的处理之后,执行步骤S130的处理。

[0125] 通过上述方式确定的与第一喷射、第二喷射和点火有关的参数,在低负荷范围R3中,由图13的图(a)中的M1表示的第一喷射燃料的未燃烧残余物量在第一喷射燃料的预喷雾的点火之后剩余。如上面描述的,在低负荷范围R3中,第一燃料喷射量 S_p 固定于最小第一燃料喷射量 S_{pmin} ,并且点火间隔 D_s 和第一喷射间隔 D_{i1} 是恒定的。因此,第一喷射燃料的未燃烧残余物量基本恒定。

[0126] 如果在步骤S104中做出的判定是否定的,即,如果负荷适应喷射量 S_0 大于第一预定量 S_1 ,则在步骤S110中判定在步骤S102中确定出的负荷适应喷射量 S_0 是否等于或小于第二预定量 S_2 ,换言之,判定内燃机1的发动机负荷是否处于第一中间负荷范围R4。第一中间负荷范围R4被限定为如下运行范围:其中,如果仅第二燃料喷射量 S_m 响应于发动机负荷的增加而增加,则烟量增加的可能性和由于第二喷射燃料的蒸发潜热所引起的不稳定燃烧的可能性是高的。因此,在第一中间负荷范围R4中,不仅第二燃料喷射量 S_m 而且第一燃料喷射量 S_p 也响应于发动机负荷的增加而增加。第二预定量 S_2 被设定为适合于如下发动机负荷的燃料喷射量,所述如下发动机负荷是在该发动机负荷以上考虑到所产生的烟量以及燃烧稳定性而使第二喷射量 S_m 被设定为其最大许用值(最大第二燃料喷射量 S_{mmax})的发动机负荷,即,在适当喷射时间喷射的燃料量达到最大许用值的发动机负荷。如果在步骤S110中做出的判定是肯定的,则接下来执行步骤S112的处理。如果在步骤S110中做出的判定是否定的,则执行步骤S120的处理。

[0127] 如果在步骤S110中做出的判定是肯定的,换言之,如果负荷适应喷射量 S_0 大于第一预定量 S_1 并等于或小于第二预定量 S_2 (即,如果内燃机1的发动机负荷处于第一中间负荷范围R4),则在步骤S111中使用由图13的图(a)中的线L21表示的控制映射来确定第一燃料喷射量 S_p 。在这个处理步骤中,内燃机1的发动机负荷越高,则第一燃料喷射量 S_p 越大。因此,内燃机的发动机负荷越高,则第一喷射燃料的未燃烧残余物量越大。然后,在步骤S112

中,使用由图13的图(b)中的线L31表示的控制映射来确定第一喷射时间 T_p 。当第一燃料喷射量 S_p 响应于内燃机1的发动机负荷的增加而增加时,如果第一喷射间隔 $Di1$ (其为第一喷射时间 T_p 与第二喷射时间 T_m 之间的间隔)是固定的,则第一燃料喷射量 S_p 越大,在执行第二喷射时越有可能使第一喷射燃料的未燃烧残余物和第二喷射燃料重叠,并且烟量增加得就越多。鉴于此,内燃机1的发动机负荷越高,则越以增加第一喷射间隔 $Di1$ 的方式使第一喷射时间 T_p 提前。换言之,在第一中间负荷范围 $R4$ 中,第一喷射时间 T_p 提前的程度大于第二喷射时间 T_m 提前的程度,并且发动机负荷越高,则第一喷射时间 T_p 的提前程度就越大。即使在第一喷射燃料的未燃烧残余物量由于第一燃料喷射量 S_p 的增加而增加时,以这种方式控制第一喷射时间 T_p 也可减少第一喷射燃料和第二喷射燃料的重叠。因此,可减少由于它们重叠所产生的烟量。此外,虽然第一喷射燃料的未燃烧残余物量随着发动机负荷的增加而增加,但未燃烧残余物在开始第二喷射之后出现的燃烧中燃烧以带来发动机动力,如上文描述的,并因此,内燃机1的热效率可保持在高水平。

[0128] 然后,在步骤S113中,使用由图13的图(b)中的线L30表示的控制映射来确定点火时间 T_s 。如在图13的图(b)中所示,在第一中间负荷范围 $R4$ 中,点火间隔 Ds (其为第一喷射时间 T_p 与点火时间 T_s 之间的间隔)也保持恒定。因此,当第一喷射时间 T_p 提前的程度大于第二喷射时间 T_m 的提前程度时,点火时间 T_s 也提前至与第一喷射时间 T_s 相同的程度。

[0129] 然后,在步骤S114中,使用图13的图(a)中的线L22表示的控制映射来确定第二燃料喷射量 S_m 。在第一中间负荷范围 $R4$ 中,正如在低负荷范围 $R3$ 中一样,发动机负荷(负荷调节喷射量 S_0)与第二燃料喷射量 S_m 之间的由线L22表示的关系由前述等式2表达。因此,可考虑根据这个实例的基本燃烧控制的特征来确定第二燃料喷射量 S ,正如在步骤S108的处理中一样。如前面描述的,在第一中间负荷范围 $R4$ 中,第一燃料喷射量 S_p 响应于发动机负荷的增加而增加。因此,在第一中间负荷范围 $R4$ 中的第二燃料喷射量 S_m 的增加率(其为第二燃料喷射量 S_m 对发动机负荷的增加的增加率)小于在第一燃料喷射量 S_p 固定的低负荷范围 $R3$ 中的第二燃料喷射量 S_m 的增加率。因此,能够减少由于第二燃料喷射量的增加所导致的烟的增加,并且能减少由于第二喷射燃料的蒸发潜热的增加所引起的点火不良的发生。在完成步骤S114的处理之后,执行步骤S130的处理。

[0130] 在第一中间负荷范围 $R4$ 中,通过上述方式确定的与第一喷射、第二喷射和点火有关的参数,由图13的图(a)中的M1表示的第一喷射燃料的未燃烧残余物量在第一喷射燃料的预喷雾的点火之后剩余。如上面描述的,在第一中间负荷范围 $R4$ 中,第一燃料喷射量 S_p 响应于发动机负荷的增加而增加,并且使第一喷射时间 T_p 和点火时间 T_s 提前,而点火间隔 Ds 保持恒定。因此,第一喷射燃料的未燃烧残余物量随着发动机负荷的增加而增加,如上面描述的。

[0131] 如果在步骤S110中做出的判定是否定,即,如果负荷适应喷射量 S_0 大于第二预定量 S_2 ,则在步骤S120判定负荷适应喷射量 S_0 是否等于或小于第三预定量 S_3 ,换言之,内燃机1的发动机负荷是否处于第二中间负荷范围 $R5$ 。如上面描述的,考虑到产生的烟和燃烧稳定性,第二预定量 S_2 被设定为适于使第二燃料喷射量 S_m 达到其最大许用值的发动机负荷的燃料喷射量。因此,第二中间负荷范围 $R5$ 被设定为仅第一燃料喷射量 S_p 响应于发动机负荷的增加而增加的运行范围。第三预定量 S_3 被设定为适于如下发动机负荷的燃料喷射量,所述如下发动机负荷是:在该发动机负荷,当仅通过第一喷射和第二喷射而不执行第三喷射来

喷射适于负荷适应喷射量 S_0 的燃料量时,考虑到产生的烟量,使不仅第二燃料喷射量 S_m 而且第一燃料喷射量 S_p 达到其最大许用值。换言之,第三预定量 S_3 等于为第一喷射设定的上限燃料喷射量和用于第二喷射的上限燃料喷射量的总和,其中利用上述两个上限燃料喷射量,源自第一/第二喷射燃料的烟量达到许用范围的上限。如果在步骤S120中做出的判定是肯定的,则接下来执行步骤S121的处理。如果在步骤S120中做出的判定是否定的,则接下来执行步骤S141的处理。

[0132] 如果在步骤S120中做出的判定是肯定的,即,如果负荷适应喷射量 S_0 大于第二预定量 S_2 且等于或小于第三预定量 S_3 (换言之,如果内燃机1的发动机负荷处于第二中间负荷范围 R_5),则根据由图13的图(a)中的线L22表示的控制映射将第二燃料喷射量 S_m 设定为最大第二燃料喷射量 S_{mmax} 。最大第二燃料喷射量 S_{mmax} 是可将产生的烟量保持在许用范围内并确保稳定燃烧(即,可防止由于第二喷射燃料的蒸发潜热所引起的不良点火发生)的最大第二燃料喷射量。如图13的图(a)中的线L22所示,在第二中间负荷范围 R_5 中,第二燃料喷射量 S_m 固定于最大第二燃料喷射量 S_{mmax} 。

[0133] 然后,在步骤S122中,使用由图13的图(a)中的线L21表示的控制映射来确定第一燃料喷射量 S_p 。在第二中间负荷范围 R_5 中,发动机负荷(负荷适应喷射量 S_0)与第一燃料喷射量 S_p 之间的由线L21表示的关系由下列等式3表达:

[0134] [公式3]

[0135] $S_p = (S_0 - S_m) / \alpha$ (等式3)

[0136] 其中 α 是第一喷射燃料的未燃烧残余物率,正如等式2中一样。根据上述等式3,可考虑根据这个实例的基本燃烧控制的特征来确定第一燃料喷射量 S_p 。这在本质上与步骤S108的处理和步骤S114的处理相同。在第二中间负荷范围 R_5 中,因为上述原因,第二燃料喷射量 S_m 固定于最大第二燃料喷射量 S_{mmax} ,并因此,在等式3中 $S_m = S_{mmax}$ 。此外,在第二中间负荷范围 R_5 中,由于第二燃料喷射量 S_m 固定于最大第二燃料喷射量 S_{mmax} ,则第一燃料喷射量 S_p 的增加率(即,第一燃料喷射量 S_p 对发动机负荷的增加的增加率)比第二燃料喷射量 S_m 也响应于发动机负荷的增加而增加的第一中间负荷范围 R_4 中的第一燃料喷射量 S_p 的增加率高。

[0137] 然后,在步骤S123中,使用图13的图(b)中的线L31表示的控制映射来确定第一喷射时间 T_p 。在第二中间负荷范围 R_5 中,由于第二燃料喷射量 S_m 固定于最大第二燃料喷射量 S_{mmax} ,所以在步骤S103中确定的第二喷射时间 T_m 也是固定的。另一方面,如上面描述的,在第二中间负荷范围 R_5 中的第一燃料喷射量 S_p 的增加率比在第一中间负荷范围 R_4 中的第一燃料喷射量 S_p 的增加率高。因此,在第二中间负荷范围 R_5 中,必须使第一喷射间隔 $Di1$ 比在第一中间负荷范围 R_4 中的第一喷射间隔 $Di1$ 长,以便在执行第二喷射时减少第一喷射燃料的未燃烧残余物和第二喷射燃料的重叠,并且还必须使第一喷射间隔 $Di1$ 的增加率(其为第一喷射间隔 $Di1$ 对发动机负荷的增加的增加率)比在第一中间负荷范围 R_4 中的第一喷射间隔 $Di1$ 的增加率高。因此,在步骤S123中,第一喷射时间 T_p 被提前成使得内燃机1的发动机负荷越大则第一喷射间隔 $Di1$ 越长。然后,第一喷射时间 T_p 的提前率(其为第一喷射时间 T_p 的提前程度的对发动机负荷的增加的比率)比在第一中间负荷范围 R_4 中的第一喷射时间 T_p 的提前率高。这样,通过控制第一喷射时间 T_p ,仅第一燃料喷射量 S_p 响应于发动机负荷的增加而增加,从而减少第一喷射燃料的未燃烧残余物和第二喷射燃料的重叠,即使第一喷射燃

料的未燃烧残余物增加。因此,可以减少由于它们的重叠所产生的烟量。此外,即使第一喷射燃料的未燃烧残余物根据发动机负荷的增加而增加,内燃机1的热效率也可保持在高水平,这归因于未燃烧残余物在开始第二喷射之后的燃烧中燃烧以带来发动机动力。

[0138] 然后,在步骤S124中,使用由图13的图(b)中的线L30表示的控制映射来确定点火时间 T_s 。在第二中间负荷范围R5中,点火间隔 D_s (其为第一喷射时间 T_p 与点火时间 T_s 之间的间隔)也保持恒定,如图13的图(b)所示。因此,当第一喷射时间 T_p 响应于发动机负荷的增加而提前时,点火时间 T_s 提前的程度也基本上与第一喷射时间 T_s 相同,正如在第一中间负荷范围R4中一样。

[0139] 在第二中间负荷范围R5中,通过上述方式确定的与第一喷射、第二喷射和点火有关的参数,由图13的图(a)中的M1表示的第一喷射燃料的未燃烧残余物量在第一喷射燃料的预喷雾的点火之后剩余。如上面描述的,在第二中间负荷范围R5中,随着发动机负荷增加,第一燃料喷射量 S_p 增加,并且第一喷射时间 T_p 和点火时间 T_s 提前,而点火间隔 D_s 保持恒定。因此,如上面描述的,随着发动机负荷增加,第一喷射燃料的未燃烧残余物增加。此外,在第二中间负荷范围R5中,第一燃料喷射量 S_p 的增加率和第一喷射时间 T_p 的提前率(或第一喷射间隔 $Di1$ 的增加率)比在第一中间负荷范围R4中的相应增加率和提前率高。因此,第一喷射燃料的未燃烧残余物相对于发动机负荷的增加的增加率比在第一中间负荷范围R4中的相应增加率高。因此,能够仅通过增加第一燃料喷射量 S_p 来获得发动机负荷的增加所要求的发动机动力。

[0140] 在完成步骤S108、S114和S124中的一个步骤的处理之后,执行步骤S130的处理。在步骤S130中,根据在上述处理中确定的第一燃料喷射量 S_p 、第一喷射时间 T_s 、第二燃料喷射量 S_m 、第二喷射时间 T_m 和点火时间 T_s ,通过燃料喷射阀6执行第一喷射和第二喷射,并且通过火花塞5执行点火。由此,实施根据这个实例的基本燃烧控制。在完成步骤S130的处理之后,再次执行步骤S101的处理。

[0141] 如果在步骤S120中的判定是否定的,即,如果负荷适应喷射量 S_0 大于第三预定量 S_3 ,则内燃机1的发动机负荷处于高负荷范围R6。如上面描述的,第三预定量 S_3 被设定为适于如下发动机负荷的燃料喷射量,所述如下发动机负荷是:在该发动机负荷,考虑到在仅通过第一喷射和第二喷射而不执行第三喷射来喷射适于负荷适应喷射量 S_0 的燃料量时所产生的烟量,不仅第二燃料喷射量 S_m 而且第一燃料喷射量 S_p 达到其上限值。换言之,在第二中间负荷范围R5中,随着响应于发动机负荷的增加而增加第一燃料喷射量 S_p 并且使第一喷射时间 T_p 提前,第一喷射间隔 $Di1$ 或在第一喷射时间 T_p 与第二喷射时间 T_m 之间的间隔在负荷适应喷射量 S_0 达到第三预定量 S_3 时达到前述上边界(图7中的 $Di1b$)。因此,高负荷范围R6被设定为除了执行第一喷射和第二喷射以外还执行第三喷射的运行范围,并且第三燃料喷射量 S_{pp} 响应于发动机负荷的增加而增加。

[0142] 如果在步骤S120中做出的判定是否定的,则在步骤S141中,根据由图13的图(a)中的线L22表示的控制映射,以与发动机负荷处于第二中间负荷范围R5的情况中相同的方式将第二燃料喷射量 S_m 设定为最大第二燃料喷射量 S_{mmax} 。由此,在高负荷范围R6中,如图13的图(a)中的线L22所示,第二燃料喷射量 S_m 固定于最大第二燃料喷射量 S_{mmax} ,正如在第二中间负荷范围R5中一样。

[0143] 然后,在步骤S142中,根据由图13的图(a)中的线L21表示的控制映射将第一燃料

喷射量 S_p 设定为最小第一燃料喷射量 S_{pmin} 。如由图13中的图(a)中的线L21所示,在高负荷范围R6中,第一燃料喷射量 S_p 固定于最小第一燃料喷射量 S_{pmin} ,正如在低负荷范围R3中一样。这可以尽可能多地降低第一喷射燃料的未燃烧残余物和第二喷射燃料的重叠。因此,可尽可能多地减少由于它们的重叠所产生的烟量。

[0144] 然后,在步骤S143中,使用图13的图(a)中的线L23表示的控制映射来确定第三燃料喷射量 S_{pp} 。在高负荷范围R6中,发动机负荷(或负荷适应喷射量 S_0)与第三燃料喷射量 S_{pp} 之间的由线L23表示的关系由下列等式4表达:

[0145] [公式4]

$$S_{pp} = S_0 - S_p \times \alpha - S_m \quad (\text{等式4})$$

[0147] 其中 α 是第一喷射燃料的未燃烧残余物率,正如在等式2中一样。如上面描述的,在根据这个实例的高负荷燃烧控制中,大部分第三喷射燃料自燃并且与第二喷射燃料一起通过扩散燃烧而燃烧,以带来发动机负荷。因此,在带来发动机动力方面,第三喷射燃料可被认为等同于第二喷射燃料。因此,可通过根据上述等式4的计算来确定适用于获得适于发动机负荷的燃料喷射量的第三燃料喷射量 S_{pp} 的值。在高负荷范围R6中,第二燃料喷射量 S_m 固定于最大第二燃料喷射量 S_{mmax} ,并因此,在上述等式4中 $S_m = S_{mmax}$ 。此外,在高负荷范围R6中,第一燃料喷射量 S_p 固定于最小第一燃料喷射量 S_{pmin} ,并因此,在上述等式4中 $S_p = S_{pmin}$ 。如将在后文描述的,在高负荷范围R6中,第一喷射时间 T_p 、第二喷射时间 T_m 和点火时间 T_s 都是恒定的,并且点火间隔 D_s 和第一喷射间隔 $Di1$ 两者因此都是恒定的。因此,上述等式4中的因数 α 是恒定值。因此,在高负荷范围R6中,随着发动机负荷增加,第三燃料喷射量 S_{pp} 根据发动机负荷的增加而增加。

[0148] 在必须通过第三喷射来喷射相对大量的燃料或者难于提供足够长的第二喷射间隔的情况中,在第一喷射之后通过由点火所产生的火焰燃烧的第三喷射燃料的比例可以变大。如果这个比例变得特别大,则必须在确定第三燃料喷射量 S_{pp} 中考虑在第一喷射之后通过由点火产生的火焰燃烧的燃料量。在这种情况下,可根据下列等式4' 计算第三燃料喷射量 S_{pp} :

[0149] [公式5]

$$S_{pp} = (S_0 - S_p \times \alpha - S_m) / \beta \quad (\text{等式4'})$$

[0151] 其中 β 是在第三喷射燃料中在开始第二喷射之后受到自燃或扩散燃烧的燃料的比例。

[0152] 可以基于例如实验提前确定上述等式4' 中的因数 β 。可通过根据考虑了上述因数 β 的上述等式4' 的计算来确定第三燃料喷射量 S_{pp} 的适当值。

[0153] 然后,在步骤S144中,使用由图13的图(b)中的线L31表示的控制映射来确定第一喷射时间 T_p 。在高负荷范围R6中,由于第二燃料喷射量 S_m 固定于最大第二燃料喷射量 S_{mmax} ,所以在步骤S103中确定的第二喷射时间也保持恒定。此外,在高负荷范围R6中,第一燃料喷射量 S_p 也固定于最小第一燃料喷射量 S_{pmin} 。因此,在高负荷范围R6中,第一喷射时间 T_p 也是恒定的,其中,所述第一喷射时间 T_p 被与第二喷射时间 T_m 相关地设定以便设定适当的第一喷射间隔 $Di1$,通过该适当的第一喷射间隔 $Di1$ 在第一燃料喷射量 S_p 是最小第一燃料喷射量 S_{pmin} 时获得令人满意的热效率。

[0154] 然后,在步骤S145中,使用由图13的图(b)中的线L30表示的控制映射来确定点火

时间 T_s 。如在图13的图(b)中所示,点火间隔 D_s (其为第一喷射时间 T_p 与点火时间 T_s 之间的间隔)保持恒定。因此,在高负荷范围R6中,点火时间 T_s 也是固定的。

[0155] 然后,在步骤S146中,使用由图13的图(b)中的线L33表示的控制映射来确定第三喷射时间 T_{pp} 。如上面描述的,在根据这个实例的高负荷燃烧控制中,必须提供适当的第二喷射间隔 D_{i2} 作为第一喷射时间 T_p 与第三喷射时间 T_{pp} 之间的间隔,使得第三喷射燃料在开始第二喷射之后通过自燃或扩散燃烧而燃烧。因此,第三喷射时间 T_{pp} 被相对于第一喷射时间 T_p 确定成提供这样的第二喷射间隔 D_{i2} 。在高负荷范围R6中,如上面描述的,第三燃料喷射量 S_{pp} 响应于发动机负荷的增加而增加。因此,在高负荷范围R6中,如图13的图(b)所示,随着发动机负荷向上增加至某一发动机负荷,第三喷射时间 T_{pp} 以增加第二喷射间隔 D_{i2} 的方式提前。第二喷射间隔 D_{i2} 越大,则在执行第一喷射时第三喷射燃料在燃烧室中扩散得越广泛。第二喷射时间提前得越多,则在第三喷射时间 T_{pp} 的在燃烧室中的压力就越低,并因此,第三喷射燃料的喷雾的穿透就越高。也为了这个原因,第三喷射时间 T_{pp} 提前得越多,则第三喷射燃料在燃烧室中扩散得越广泛。随着第三喷射燃料在燃烧室中扩散得越广泛,第三喷射燃料倾向于在开始第二喷射之后通过自燃或扩散燃烧而燃烧,而不是通过第一喷射燃料的预喷雾的点火所产生的火焰而燃烧。然而,如果在压缩冲程中第三喷射时间过早,则第三喷射燃料有可能粘附至气缸孔的表面。因此,为了将粘附至气缸孔表面的第三喷射燃料的量保持在许用范围内,为第三喷射时间 T_{pp} 设定上限(最大提前)。在响应于发动机负荷的增加而使第三喷射时间 T_{pp} 提前的过程中,如果第三喷射时间 T_{pp} 达到上限,则即使当第三燃料喷射量 S_{pp} 响应于发动机负荷的进一步增加而增加时,第三喷射时间 T_{pp} 也保持在上限。

[0156] 在高负荷范围R6中,通过上述方式确定的与第一喷射、第二喷射和点火相关的参数,由图13的图(a)中的M1表示的第一喷射燃料的未燃烧残余物量在第一喷射燃料的预喷雾的点火之后剩余。在高负荷范围R6中,第一燃料喷射量 S_p 、第一喷射间隔 D_{i1} 和点火间隔 D_s 与它们在低负荷范围R3中相同。因此,第一喷射燃料的未燃烧残余物量是基本恒定的,正如在低负荷范围R3中一样。

[0157] 在完成步骤S146的处理之后,执行步骤S147的处理。在步骤S147中,根据在上述处理中确定的第一燃料喷射量 S_p 、第一喷射时间 T_s 、第二燃料喷射量 S_m 、第二喷射时间 T_m 、第三燃料喷射量 S_{pp} 、第三喷射时间 T_{pp} 和点火时间 T_s ,通过燃料喷射阀6执行第一喷射、第二喷射和第三喷射,并通过火花塞5执行点火。由此,实施根据这个实例的高负荷燃烧控制。在完成步骤S147的处理之后,再次执行步骤S101的处理。

[0158] 根据这个实例,如上面描述的,通过与内燃机1的发动机负荷相关地适当地设定与燃烧控制有关的参数(包括第一燃料喷射量 S_p 、第一喷射时间 T_p 、第二燃料喷射量 S_m 、第二喷射时间 T_m 、第三燃料喷射量 S_{pp} 、第三喷射时间 T_{pp} 和点火时间 T_s),可以在减少烟的情况下引起稳定的柴油燃烧的发生,并且可以提高热效率。此外,在高负荷范围中,在将第一燃料喷射量 S_p 和第二燃料喷射量 S_m 保持在它们的上限值的同时,通过执行第三喷射可以喷射与负荷适应喷射量 S_0 相等的燃料量。换言之,通过除了执行第一喷射和第二喷射外还执行第三喷射,与仅执行第一喷射和第二喷射的情况下相比,能使在将烟量保持在许用范围中的同时能引起柴油燃烧的运行范围延伸得更多。

[0159] <变形例>

[0160] 图14示出了在根据这个实例的燃烧控制中使用的另一组示例性控制映射。正如在图13的图(a)中一样,在图14中的上图(a)中,线L21表示内燃机1的发动机负荷与第一燃料喷射量之间的关系,线L22表示发动机负荷与第二燃料喷射量之间的关系,线L23表示发动机负荷与第三燃料喷射量之间的关系,并且线L20表示发动机负荷与负荷适应喷射量(其为适于发动机负荷的燃料喷射量)之间的关系。此外,图14中的上图(a)也示出了未在通过由火花塞5的点火引起的燃烧中燃烧的第一喷射燃料的未燃烧残余物量M1。在图14中的下图(b)中,正如图13的图(b)一样,线L31表示内燃机1的发动机负荷与第一喷射时间 T_p 之间的关系,线L30表示发动机负荷与发动机时间 T_s 之间的关系,线L32表示发动机负荷与第二喷射时间 T_m 之间的关系,并且线L33表示发动机负荷与第三喷射时间 T_{pp} 之间的关系。线L31与线L32之间的距离表示第一喷射间隔 $Di1$,线L31与线L30之间的距离表示点火间隔 Ds ,并且线L33与线L31之间的距离表示第二喷射间隔 $Di2$ 。

[0161] 在根据这个变形例的控制映射中,在低负荷范围R3、第一中间负荷范围R4和第二中间负荷范围R5中,内燃机1的发动机负荷与控制参数之间的关系与其在图13所示的控制映射中相同。也在根据这个变形例的控制映射中,正如在图13所示的控制映射中,在高负荷范围R6中,第二燃料喷射量 S_m 固定于最大第二燃料喷射量 S_{mmax} ,并且第二喷射时间 T_m 固定于适于最大第二燃料喷射量 S_{mmax} 的时间(即,第二喷射时间 T_m 的最大提前时间)。根据这个变形例的控制映射与图13所示的控制映射的不同之处在于,如图14的图(a)中的线21所示,在高负荷范围R6中,第一燃料喷射量 S_p 固定于最大第一燃料喷射量 S_{pmax} 。此外,在根据这个变形例的控制映射中,如由图14的图(b)中的线L31所示,在高负荷范围R6中,第一喷射时间 T_p 固定于适于最大第一燃料喷射量 S_{pmax} 的时间(即,第一喷射时间 T_p 的最大提前时间)。通过如上确定的第一燃料喷射量 S_p 和第一喷射时间 T_p ,在高负荷范围R6中,由图14的图(a)中的M1表示的第一喷射燃料的未燃烧残余物量在第一喷射燃料的预喷雾的点火之后剩余。因此,在高负荷范围R6中第一喷射燃料的未燃烧残余物量基本上恒定于最大量。

[0162] 也在根据这个变形例的控制映射中,正如在图13所示的控制映射中一样,在高负荷范围R6中,除了第一喷射和第二喷射之外,还执行第三喷射。换言之,在高负荷范围R6中执行高负荷燃烧控制。如由图14的图(a)中的线L23所示,第三燃料喷射量 S_{pp} 随着内燃机1的发动机负荷的增加而增加。如由图14的图(b)中的线L33所示,第三喷射时间 T_{pp} 以使第二喷射间隔 $Di2$ 随着内燃机1的发动机负荷的增加而增加的方式提前。然而,在根据这个变形例的控制映射中,高负荷范围R6中的第一喷射燃料的未燃烧残余物量恒定于最大量。因此,在高负荷范围R6中的用于相同发动机负荷的第三燃料喷射量 S_{pp} 小于在图13所示的控制映射中的该第三燃料喷射量,在图13中在高负荷范围R6中第一燃料喷射量 S_p 固定于最小第一燃料喷射量 S_{pmin} ,并且第一喷射燃料的未燃烧残余物量恒定于最小量。因此,在高负荷范围R6中,在第二喷射之后通过自燃或扩散燃烧所燃烧的第一喷射燃料的未燃烧残余物量与第三燃料喷射量的总和近似等于在图13所示的控制映射的情况中的相应总和。

[0163] 也在使用根据这个变形例的控制映射确定在高负荷范围R6中的第一燃料喷射量 S_p 、第一喷射时间 T_p 、第二燃料喷射量 S_m 、第二喷射时间 T_m 、第三燃料喷射量 S_{pp} 、第三喷射时间 T_{pp} 和点火时间 T_s 的情况下,可以在减少烟产生的情况下引起稳定的柴油燃烧的发生。而且,通过根据这个变形例的控制映射,在内燃机1的发动机负荷从第二中间负荷范围R5到高负荷范围R6(反之亦然)的转换时的第一燃料喷射量 S_p 和第一喷射时间 T_p 的变化可以相

对较小。因此,可以认为可以改进第一燃料喷射量 S_p 和第一喷射时间 T_p 的鲁棒性。

[0164] [实例2]

[0165] 根据实例2的内燃机及其进气和排气系统的一般构造与其在实例1中相同。在下面,将参考图15至17描述根据实例2的燃烧控制的控制流程。图15和16是根据这个实例的燃烧控制的控制流程的流程图。这个控制流程预先存储在ECU20中并在内燃机1运行的同时通过执行存储在ECU20中的控制程序而以规定的间隔重复实施这个控制流程。在这个控制流程中的步骤S101至S108、S110至S114和S130与其在图11所示的上述流程中相同,并且执行相同处理的步骤由相同的标记表示并将不在进一步描述。

[0166] 图17示出了在根据这个实例的燃烧控制中使用的示例性控制映射。在图17的上图(a)中,正如在图13的图(a)中一样,线L21表示内燃机1的发动机负荷与第一燃料喷射量之间的关系,线L22表示发动机负荷与第二燃料喷射量之间的关系,线L23表示发动机负荷与第三燃料喷射量之间的关系,并且线L20表示发动机负荷与负荷适应喷射量(其为适于发动机负荷的燃料喷射量)之间的关系。此外,图17中的上图(a)还示出了在通过由火花塞5的点火所引起的燃烧中未燃烧的第一喷射燃料的未燃烧残余物量 M_1 。在图17的下图(b)中,正如在图13的图(b)中一样,线L31表示内燃机1的发动机负荷与第一喷射时间 T_p 之间的关系,线L30表示发动机负荷与点火时间 T_s 之间的关系,线L32表示发动机负荷与第二喷射时间 T_m 之间的关系,并且线L33表示发动机负荷与第三喷射时间 T_{pp} 之间的关系。线L31与线L32之间的距离表示第一喷射间隔 Di_1 ,线L31与线L30之间的距离表示点火间隔 D_s ,并且线L33与线L31之间的距离表示第二喷射间隔 Di_2 。

[0167] 如图17所示,在这个实例中,当内燃机1的发动机负荷处于低负荷范围R3或第一中间负荷范围R4时,执行上述基本燃烧控制。当内燃机1的发动机负荷处于第二中间负荷范围R5或高负荷范围R6时,执行上述高负荷燃烧控制。由此,根据这个实例的燃烧控制与根据实例1的燃烧控制的不同之处在于,不仅在高负荷范围R6中而且在第二中间负荷范围R5中,除了第一喷射和第二喷射之外,还执行第三喷射。在这个实例中,第一中间负荷范围R4和第二中间负荷范围R5的边界上的发动机负荷是如在本发明中限定的“预定负荷”。

[0168] 在根据这个实例的控制流程中,如果在步骤S110中的判定是否定的,即,如果负荷适应喷射量 S_0 大于第二预定量 S_2 ,则执行步骤S151到S157的处理。在步骤S151中,根据图17的图(a)中的线L22表示的控制映射将第二燃料喷射量 S_m 设定为最大第二燃料喷射量 S_{mmax} 。换言之,在第二中间负荷范围R5和高负荷范围R6中,第二燃料喷射量 S_m 被设定为最大第二燃料喷射量 S_{mmax} 。

[0169] 然后,在步骤S152中,使用图17的图(a)中的线L21表示的控制映射来确定第一燃料喷射量 S_p 。第一燃料喷射量 S_p 被确定为比在第一中间负荷范围R4中的第一燃料喷射量 S_p 的最大值小的预定第一燃料喷射量 S_{px} 。此外,在第二中间负荷范围R5和高负荷范围R6中,第一燃料喷射量 S_p 固定于预定第一燃料喷射量 S_{px} ,如由图17的图(a)中的线L21所示。在第一中间负荷范围R4中的第一燃料喷射量 S_p 的最大值未达到最大第一燃料喷射量 S_{pmax} 。然而,即使在这种情况下,在第二中间负荷范围R5和高负荷范围R6中,第一燃料喷射量 S_p 也固定于比在第一中间负荷范围R4中的第一燃料喷射量 S_p 的最大值小的预定第一燃料喷射量 S_{px} 。与第一燃料喷射量 S_p 响应于发动机负荷的增加而向上增加至最大第一燃料喷射量 S_{pnax} 的情况相比,这可使得第一喷射燃料的未燃烧残余物量较小。因此,可以更有效地降

低第一喷射燃料的未燃烧残余物和第二喷射燃料的重叠。因此,可以进一步减少由于其重叠所产生的烟量。

[0170] 在第二中间负荷范围R5和高负荷范围R6中,第一燃料喷射量 S_p 可固定于最小燃料喷射量 S_{pmin} 。这可以尽可能多地减少第一喷射燃料的未燃烧残余物和第二喷射燃料的重叠。因此,可以尽可能多地减少由于其重叠所产生的烟量。

[0171] 然后,在步骤S153中,使用由图17的图(a)中的线L23表示的控制映射来确定第三燃料喷射量 S_{pp} 。在第二中间负荷范围R5和高负荷范围R6中,发动机负荷(负荷适应喷射量 S_0)与第三燃料喷射量 S_{pp} 之间的由线L23表示的关系由上述等式4表达,正如在实例1的高负荷范围R6中一样。因此,可以考虑根据这个实例的高负荷燃烧控制的特征来确定第三燃料喷射量 S_{pp} 。在第二中间负荷范围R5和高负荷范围R6中,如上所述,第二燃料喷射量 S_m 固定于最大第二燃料喷射量 S_{mmax} ,因此在上述等式4中 $S_m = S_{mmax}$ 。而且,在第二中间负荷范围R5和高负荷范围R6中,第一燃料喷射量 S_p 固定于预定第一燃料喷射量 S_{px} ,因此在上述等式4中 $S_p = S_{px}$ 。如将在后文描述的,在第二中间负荷范围R5和高负荷范围R6中,第一喷射时间 T_p 、第二喷射时间 T_m 和点火时间 T_s 都是恒定的,并且点火间隔 D_s 和第一喷射间隔 $Di1$ 两者是恒定的。因此,在上述等式4中的因数 α 是恒定值。因此,在第二中间负荷范围R5和高负荷范围R6中,随着发动机负荷增加,第三燃料喷射量 S_{pp} 根据发动机负荷的增加而增加。

[0172] 然后,在步骤S154中,使用图17的图(b)中的线L31表示的控制映射来确定第一喷射时间 T_p 。在第二中间负荷范围R5和高负荷范围R6中,由于第二燃料喷射量 S_m 固定于最大第二燃料喷射量 S_{mmax} ,所以在步骤S103中确定的第二喷射时间 T_m 也是固定的。此外,在第二中间负荷范围R5和高负荷范围R6中,第一燃料喷射量 S_p 也固定于预定第一燃料喷射量 S_{px} 。因此,在第二中间负荷范围R5和高负荷范围R6中,第一喷射时间 T_p 也是恒定的,其中第一喷射时间 T_p 与第二喷射时间 T_m 相关地被确定以便设定适当的第一喷射间隔 $Di1$,通过该适当的第一喷射间隔,在第一燃料喷射量 S_p 是预定第一燃料喷射量 S_{px} 时获得令人满意的热效率。

[0173] 然后,在步骤S155中,使用图17的图(b)中的线L30表示的控制映射来确定点火时间 T_s 。如在图17的图(b)所示,点火间隔 D_s (其为第一喷射时间 T_p 与点火时间 T_s 之间的间隔)保持恒定。因此,在第二中间负荷范围R5和高负荷范围R6中,点火时间 T_s 也是固定的。

[0174] 然后,在步骤S156中,使用图17的图(b)中的线L33表示的控制映射来确定第三喷射时间 T_{pp} 。正如在实例1的高负荷范围R6中一样,以提供适当的第二喷射间隔 Di 的方式确定第三喷射时间 T_{pp} ,该适当的第二喷射间隔允许第三喷射燃料在开始第二喷射之后通过自燃或扩散燃烧而燃烧。在第二中间负荷范围R5和高负荷范围R6中,正如在实例1的高负荷范围R6中一样,第三燃料喷射量 S_{pp} 随着发动机负荷的增加而增加。因此,在第二中间负荷范围R5和高负荷范围R6中,如图17的图(b)所示,以第二喷射间隔 $Di2$ 随着发动机负荷向上增加至某一发动机负荷而增加的方式使第三喷射时间 T_{pp} 提前(即,直到第三喷射时间 T_{pp} 达到上限或最大提前为止)。

[0175] 在第二中间负荷范围R5和高负荷范围R6中,通过与以上述方式确定的第一喷射、第二喷射和点火有关的参数,由图17的图(a)中的M1表示的第一喷射燃料的未燃烧残余物量在第一喷射燃料的预喷雾的点火之后剩余。在第二中间负荷范围R5和高负荷范围R6中,第一燃料喷射量 S_p 、第一喷射间隔 $Di1$ 和点火间隔 D_s 恒定。因此,在第二中间负荷范围R5和

高负荷范围R6中,第一喷射燃料的未燃烧残余物量基本恒定。

[0176] 在完成步骤S156的处理之后,执行步骤S157的处理。在步骤S157中,根据在上述处理中确定的第一燃料喷射量 S_p 、第一喷射时间 T_s 、第二燃料喷射量 S_m 、第二喷射时间 T_m 、第三燃料喷射量 S_{pp} 、第三喷射时间 T_{pp} 和点火时间 T_s ,通过燃料喷射阀6执行第一喷射、第二喷射和第三喷射,并通过火花塞5执行点火。由此,实施根据这个实例的高负荷燃烧控制。在完成步骤S157的处理之后,再次执行步骤S101的处理。

[0177] 在根据这个实例的控制中,通过不仅在高负荷范围R6中而且在第二中间负荷范围R5中执行第三喷射,当内燃机1的发动机负荷处于第二中间负荷范围R5时,第一燃料喷射量 S_p 可以相对较小。因此,可以进一步减小在第二中间负荷范围中由于第一喷射燃料的未燃烧残余物和第二喷射燃料的重叠所产生的烟量。

[0178] 在这个实例中,在第二中间负荷范围R5和高负荷范围R6中,第一燃料喷射量 S_p 可固定于在第一中间负荷范围R4中的第一燃料喷射量 S_p 的最大值。在这种情况下,第一喷射时间也固定于在第一中间负荷范围R4中的第一喷射时间 T_p 的最大提前。由此,在内燃机1的发动机负荷从第一中间负荷范围R4到第二中间负荷范围R5(或者反之亦然)的转换时,第一燃料喷射量 S_p 和第一喷射时间 T_p 的变化可以较小。因此,可以认为可以改进第一燃料喷射量 S_p 和第一喷射时间 T_p 的鲁棒性。

[0179] <变形例>

[0180] 图18示出了在根据这个实例的燃烧控制中使用的另一组示例性控制映射。在图18的上图(a)中,正如在图13的图(a)中一样,线L21表示内燃机1的发动机负荷与第一燃料喷射量之间的关系,线L22表示发动机负荷与第二燃料喷射量之间的关系,线L23表示发动机负荷与第三燃料喷射量之间的关系,并且线L20表示发动机负荷与负荷适应喷射量(其为适于发动机负荷的燃料喷射量)之间的关系。此外,图18的上图(a)还示出了在通过由火花塞5的点火所引起的燃烧中未燃烧的第一喷射燃料的未燃烧残余物量 M_1 。在图18的下图(b)中,正如在图13中的图(b)中一样,线L31表示内燃机1的发动机负荷与第一喷射时间 T_p 之间的关系,线L30表示发动机负荷与点火时间 T_s 之间的关系,线L32表示发动机负荷与第二喷射时间 T_m 之间的关系,并且L33表示发动机负荷与第三喷射时间 T_{pp} 之间的关系。线L31与线L32之间的距离表示第一喷射间隔 Di_1 ,线L31与线L30之间的距离表示点火间隔 Ds ,并且线L33与线L31之间的距离表示第二喷射间隔 Di_2 。

[0181] 在根据这个变形例的控制映射中,在低负荷范围R3和第一中间负荷范围R4中,内燃机1的发动机负荷与控制参数之间的关系与其在图17所示的控制映射中相同。也在根据这个变形例的控制映射中,正如在图17所示的控制映射一样,在第二中间范围R5和高负荷范围R6中,第二燃料喷射量 S_m 固定于最大第二燃料喷射量 S_{mmax} ,并且第二喷射时间 T_m 固定于适于最大第二燃料喷射量 S_{mmax} 的时间(即,第二喷射时间 T_m 的最大提前时间)。根据这个变形例的控制映射与图17所示的控制映射的不同之处在于,如由图18的图(a)中的线L21所示,在第二中间负荷范围R5和高负荷范围R6中,第一燃料喷射量 S_p 也响应于发动机负荷的增加而增加。此外,在根据这个变形例的控制映射中,如由图18的图(b)中的线L31所示,在第二中间负荷范围R5和高负荷范围R6中所示,第一喷射时间 T_p 响应于发动机负荷的增加而提前。通过如上确定的第一燃料喷射量 S_p 和第一喷射时间 T_p ,在第二中间负荷范围R5和高负荷范围R6中,由图18的图(a)中的 M_1 表示的第一喷射燃料的未燃烧残余物量在第一喷射

燃料的预喷雾的点火之后剩余。由此,在第二中间负荷范围R5和高负荷范围R6中,随着发动机负荷增加,第一喷射燃料的未燃烧残余物量增加。

[0182] 也在根据这个变形例的控制映射中,不仅在高负荷范围R6中而且在第二中间负荷范围R5中,除了第一喷射和第二喷射之外,还执行第三喷射。如由图18的图(a)中的线L23所示,第三燃料喷射量 S_{pp} 随着内燃机1的发动机负荷的增加而增加。此外,如由图18的图(b)中的线L33所示,第三喷射时间 T_{pp} 以使第二喷射间隔 $Di2$ 随着内燃机1的发动机负荷的增加而增加的方式提前。然而,在根据这个变形例的控制映射中,在第二中间负荷范围R5和高负荷范围R6中的第一喷射燃料的未燃烧残余物量随着发动机负荷的增加而增加。因此,在第二中间负荷范围R5和高负荷范围R6中用于相同发动机负荷的第三燃料喷射量 S_{pp} 比在图17所示的控制映射中的第三燃料喷射量小,在图17所示的控制映射中,第一燃料喷射量 S_p 在第二中间负荷范围R5和高负荷范围R6中固定于预定第一燃料喷射量 S_{px} ,并且第一喷射燃料的未燃烧残余物量是恒定的。因此,在高负荷范围R6中,在第二喷射之后通过自燃或扩散燃烧而燃烧的第一喷射燃料的未燃烧残余物量和第三燃料喷射量的总和近似等于其在图13所示的控制映射的情况。

[0183] 即使在第二中间负荷范围R5和高负荷范围R6中第一燃料喷射量 S_p 响应于发动机负荷的增加而增加(正如这个变形例的控制映射一样),通过将第三燃料喷射量 S_{pp} 调节至适当值,第一燃料喷射量 S_p 保持等于或小于最大第一燃料喷射量 S_{pmax} 。因此,能够将由于第一喷射燃料的未燃烧残余物和第二喷射燃料的重叠所产生的烟量保持在许用范围内。换言之,能够在将由于第一喷射燃料的未燃烧残余物和第二喷射燃料的重叠所产生的烟量保持在许用范围内的同时,响应于发动机负荷的增加而增加第一燃料喷射量 S_p 。

[0184] 在使用根据这个变形例的控制映射来确定在第二中间负荷范围和高负荷范围R6中的第一燃料喷射量 S_p 、第一喷射时间 T_p 、第二燃料喷射量 S_m 、第二喷射时间 T_m 、第三燃料喷射量 S_{pp} 、第三喷射时间 T_{pp} 和点火时间 T_s 的情况下,可以在减少烟产生的情况下引起稳定的柴油燃烧的发生。

[0185] 在根据这个实例的高负荷燃烧控制中,在第二中间负荷范围R5和高负荷范围R6中,适当地调节第三燃料喷射量 S_{pp} 使第二燃料喷射量 S_m 在不超过最大第二喷射燃料范围 S_{mmax} 的范围中响应于发动机负荷的增加而增加。换言之,在将源自第二喷射燃料的烟量保持在许用范围内的同时,第二燃料喷射量 S_m 可响应于发动机负荷的增加而增加。

[0186] 即使在第二中间负荷范围R5和高负荷范围R6中不仅第三燃料喷射量 S_{pp} 响应于发动机负荷的增加而增加而且第一燃料喷射量 S_p 和第二燃料喷射量 S_m 中的至少一个燃料喷射量响应于发动机负荷的增加而增加的情况下,优选地,响应于发动机负荷的增加的负荷适应喷射量 S_0 的增加的百分之五十或更多由第三燃料喷射量 S_{pp} 的增加组成。换言之,优选地,第一燃料喷射量 S_p 和第二燃料喷射量 S_m 的增加小于第三燃料喷射量 S_{pp} 的增加。如果这是这种情况,在第一燃料喷射量 S_p 和第二燃料喷射量 S_m 中的至少一个燃料喷射量响应于发动机负荷的增加而增加的情况下,与在响应于发动机负荷的增加的负荷适应喷射量 S_0 中的百分之五十或更多由第一燃料喷射量 S_p 的增加和第二燃料喷射量 S_m 的增加组成(或者在仅第一喷射燃料量 S_p 和第二燃料喷射量 S_m 中的一个燃料喷射量增加的情况下,由第一喷射燃料量 S_p 和第二燃料喷射量 S_m 中的一个燃料喷射量的增加构成)的情况相比,能够烟量较小。

[0187] 附图标记列表

- [0188] 1:内燃机
- [0189] 2:气缸
- [0190] 3:活塞
- [0191] 5:火花塞
- [0192] 6:燃料喷射阀
- [0193] 7:排气端口
- [0194] 8:进气端口
- [0195] 9:进气门
- [0196] 10:排气门
- [0197] 20:ECU
- [0198] 21:曲柄位置传感器
- [0199] 22:加速器位置传感器
- [0200] 71:节气门
- [0201] 72:空气流量计
- [0202] Tp:第一喷射时间
- [0203] Tm:第二喷射时间
- [0204] Tpp:第三喷射时间
- [0205] Ts:点火时间
- [0206] Di1:第一喷射间隔
- [0207] Di2:第二喷射间隔
- [0208] Ds:点火间隔
- [0209] Sp:第一燃料喷射量
- [0210] Sm:第二燃料喷射量
- [0211] Spp:第三燃料喷射量。

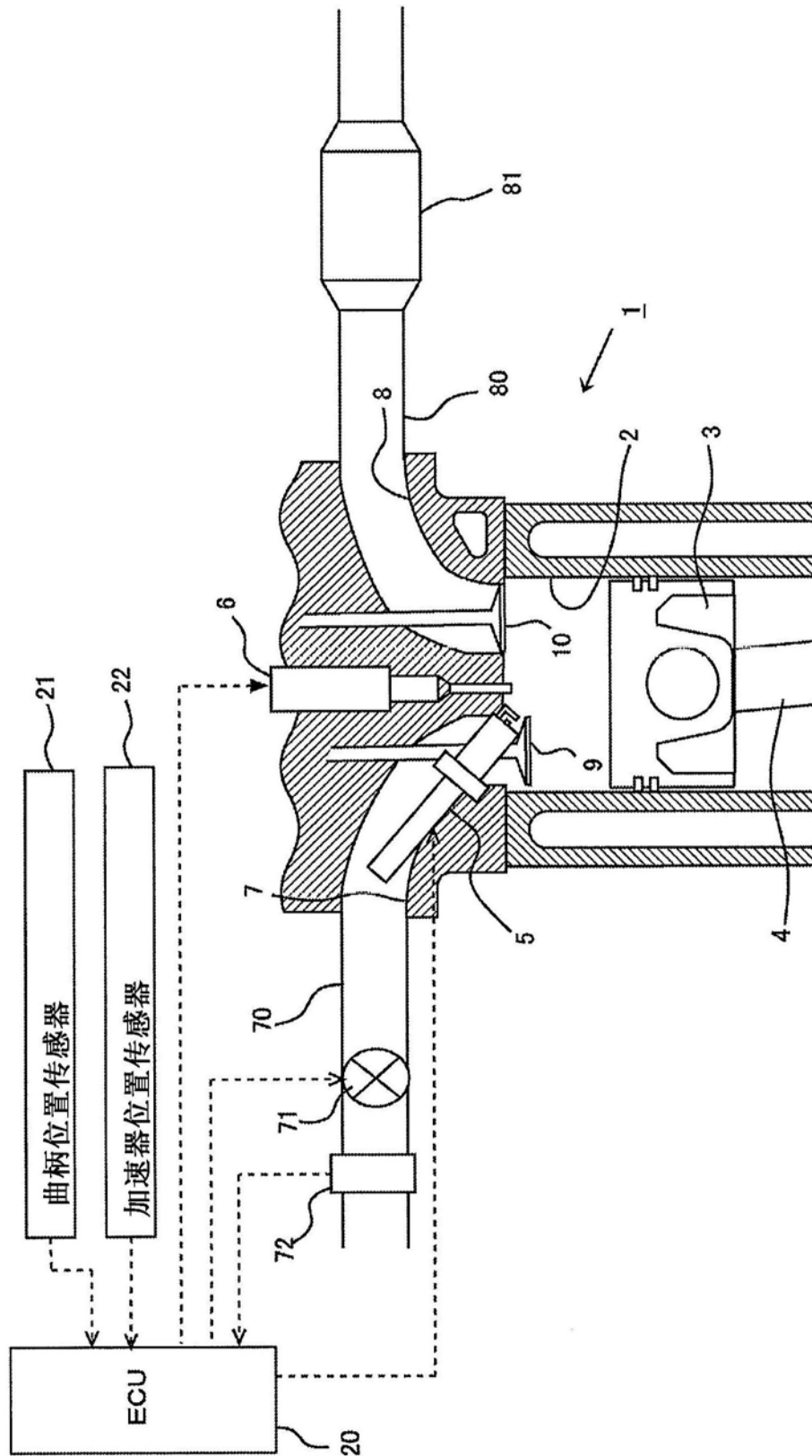


图1

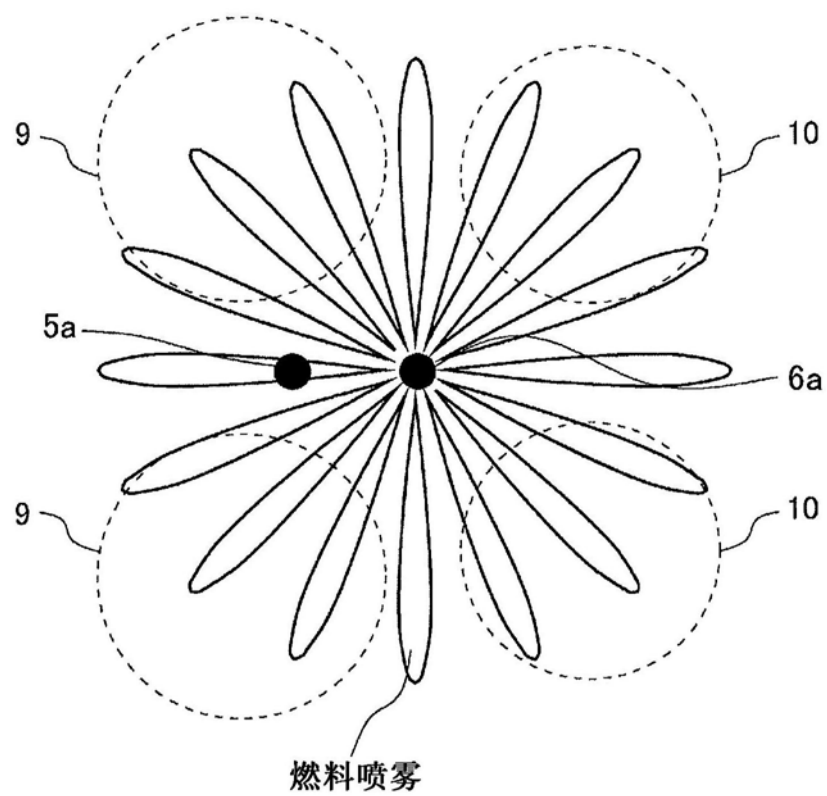


图2

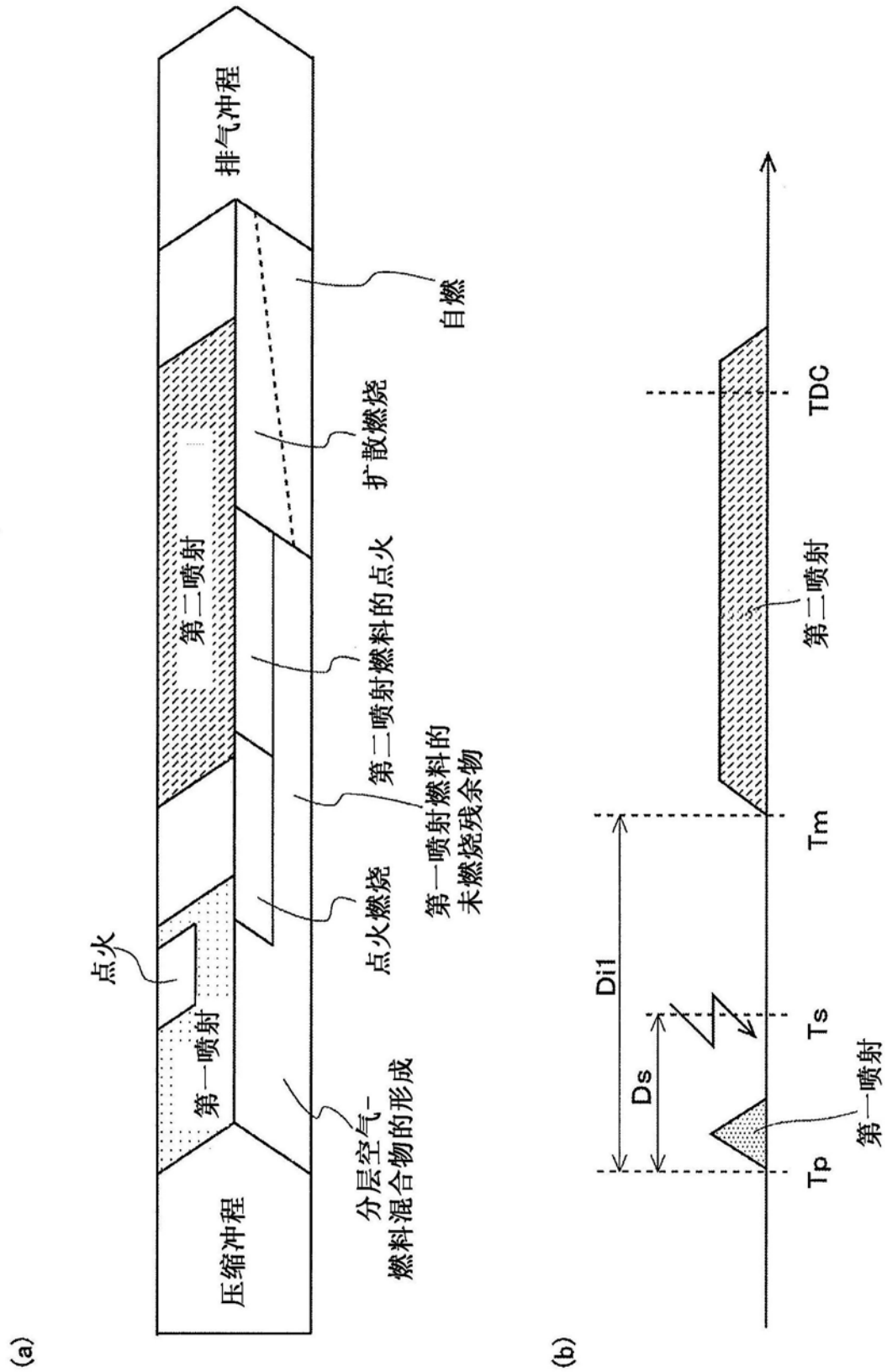


图3

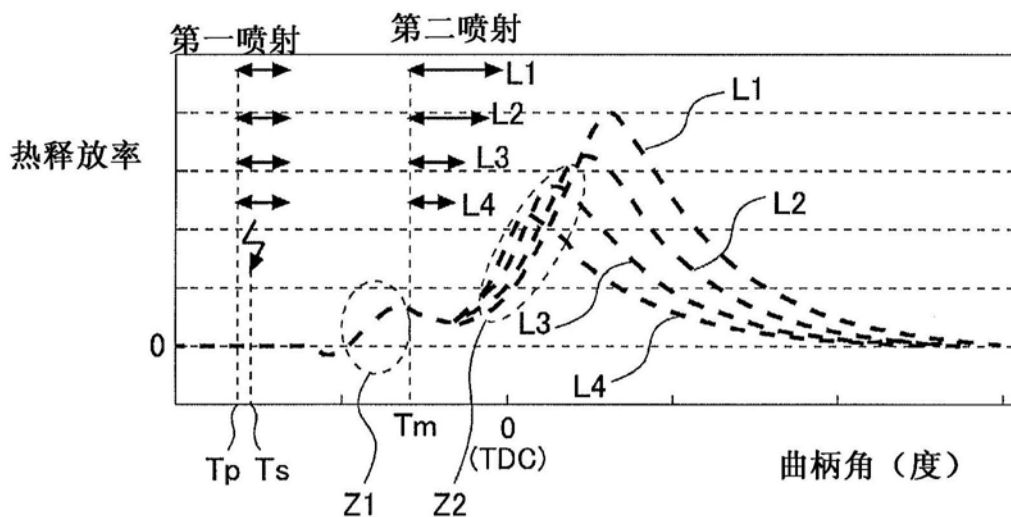


图4

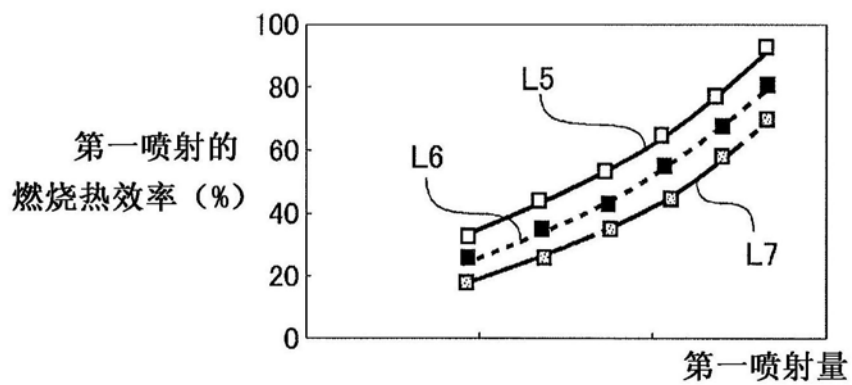


图5

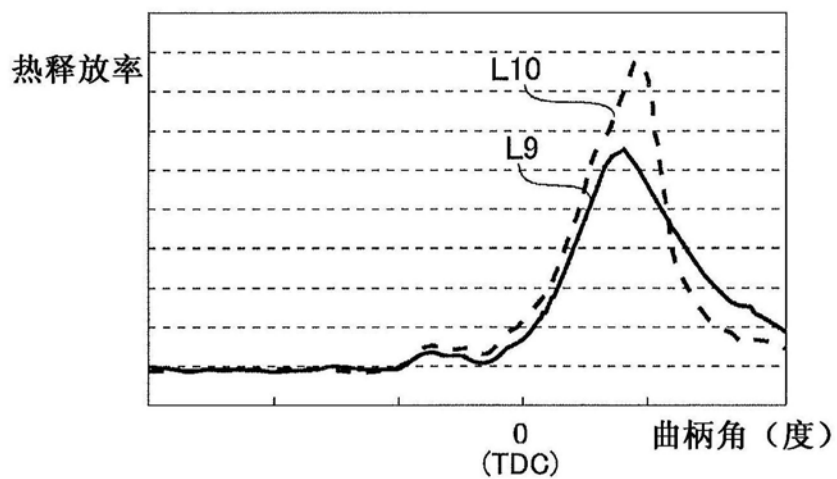


图6

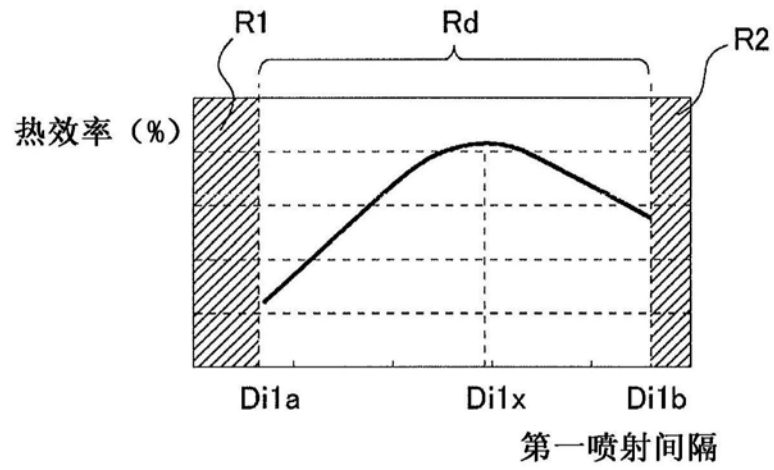


图7

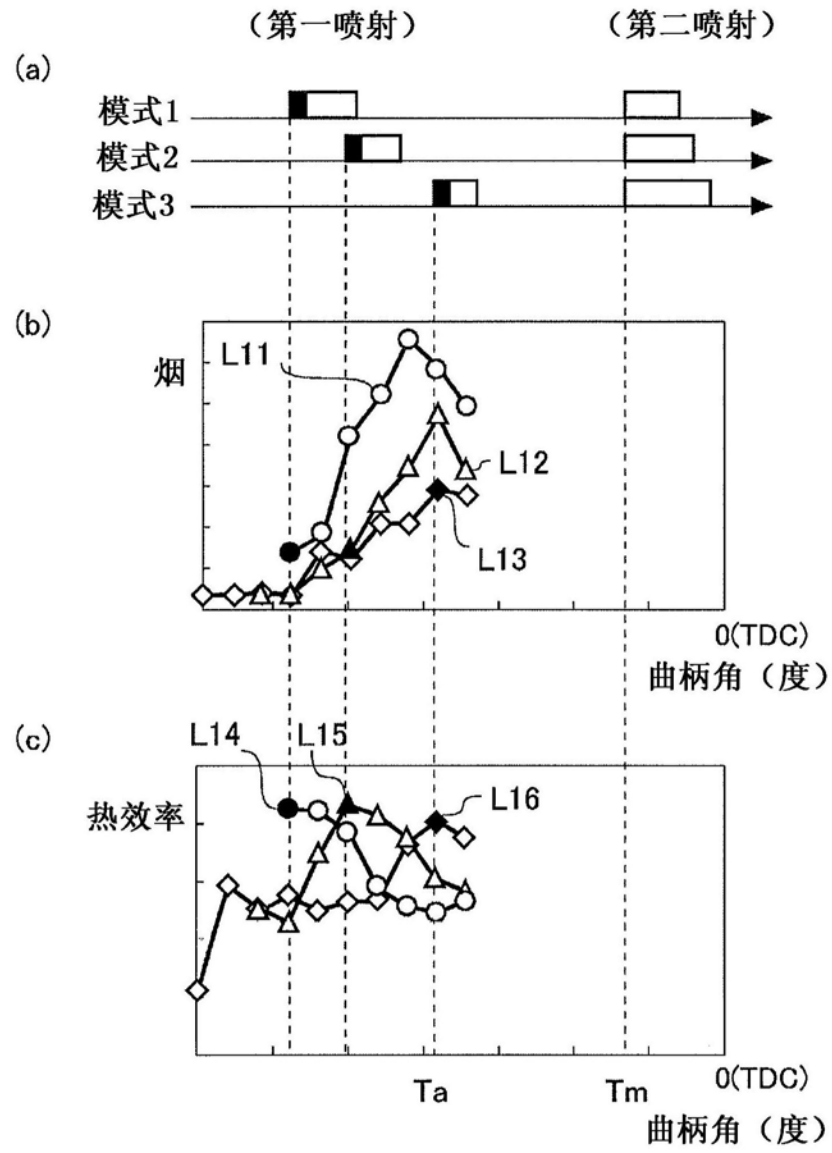


图8

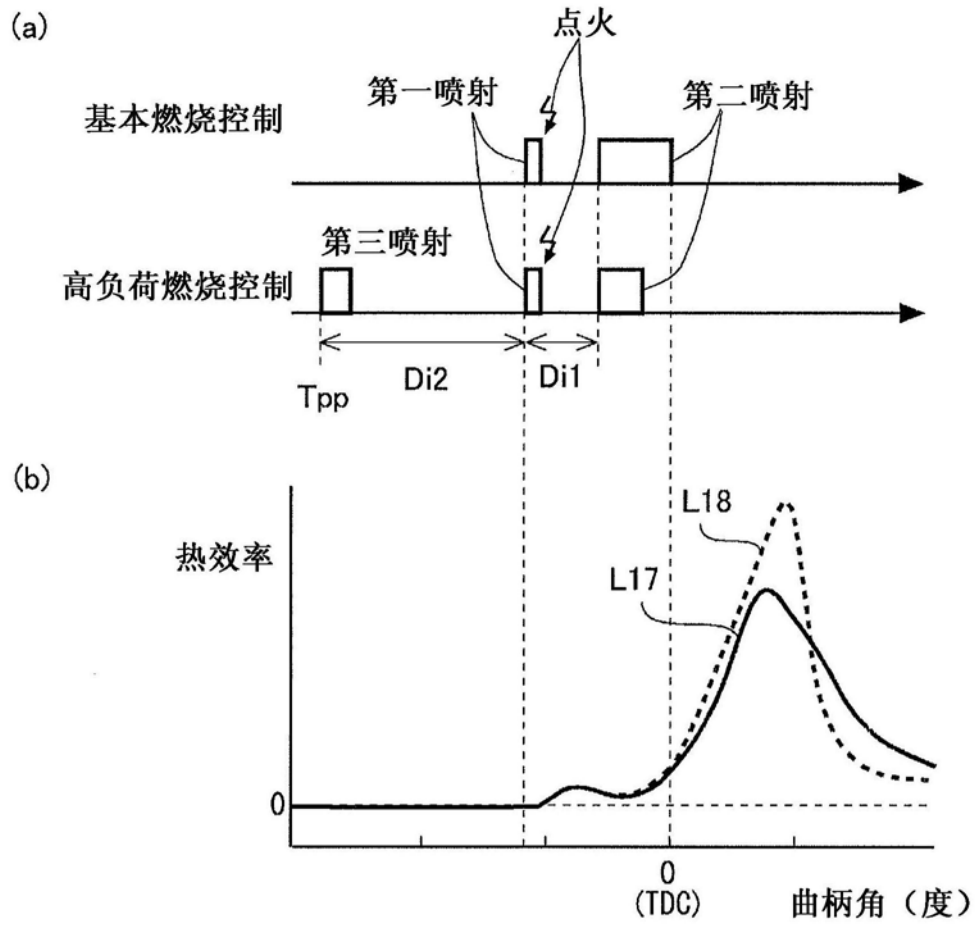


图9

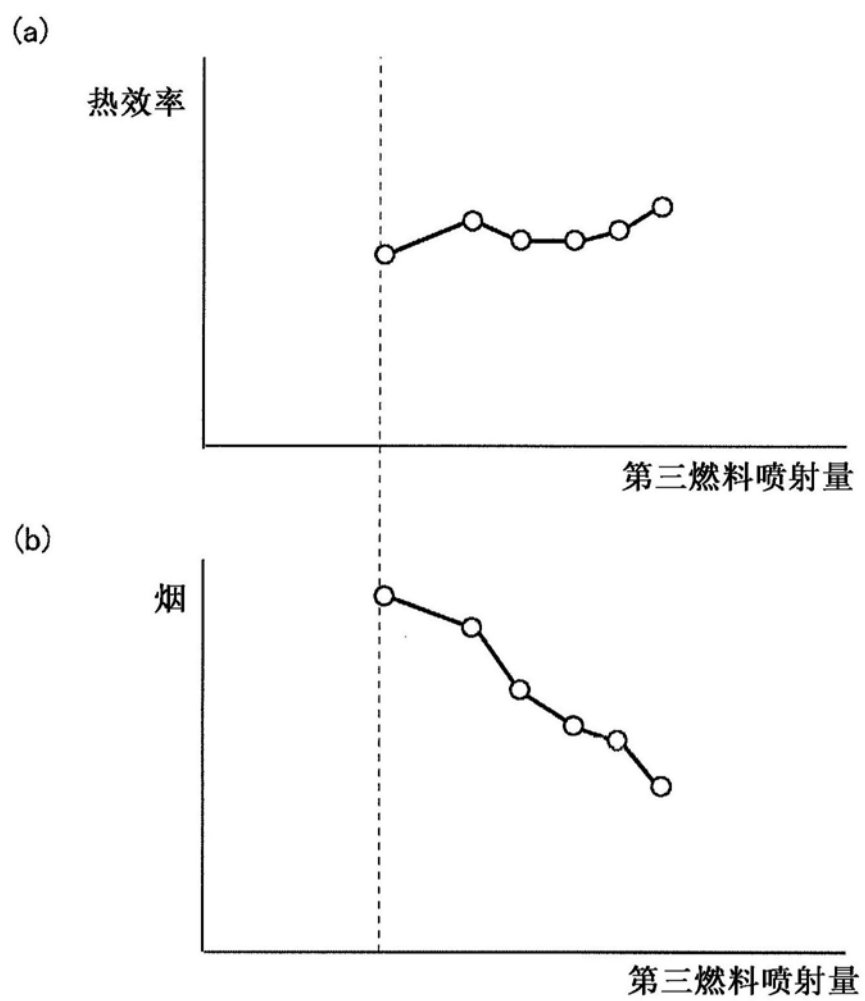


图10

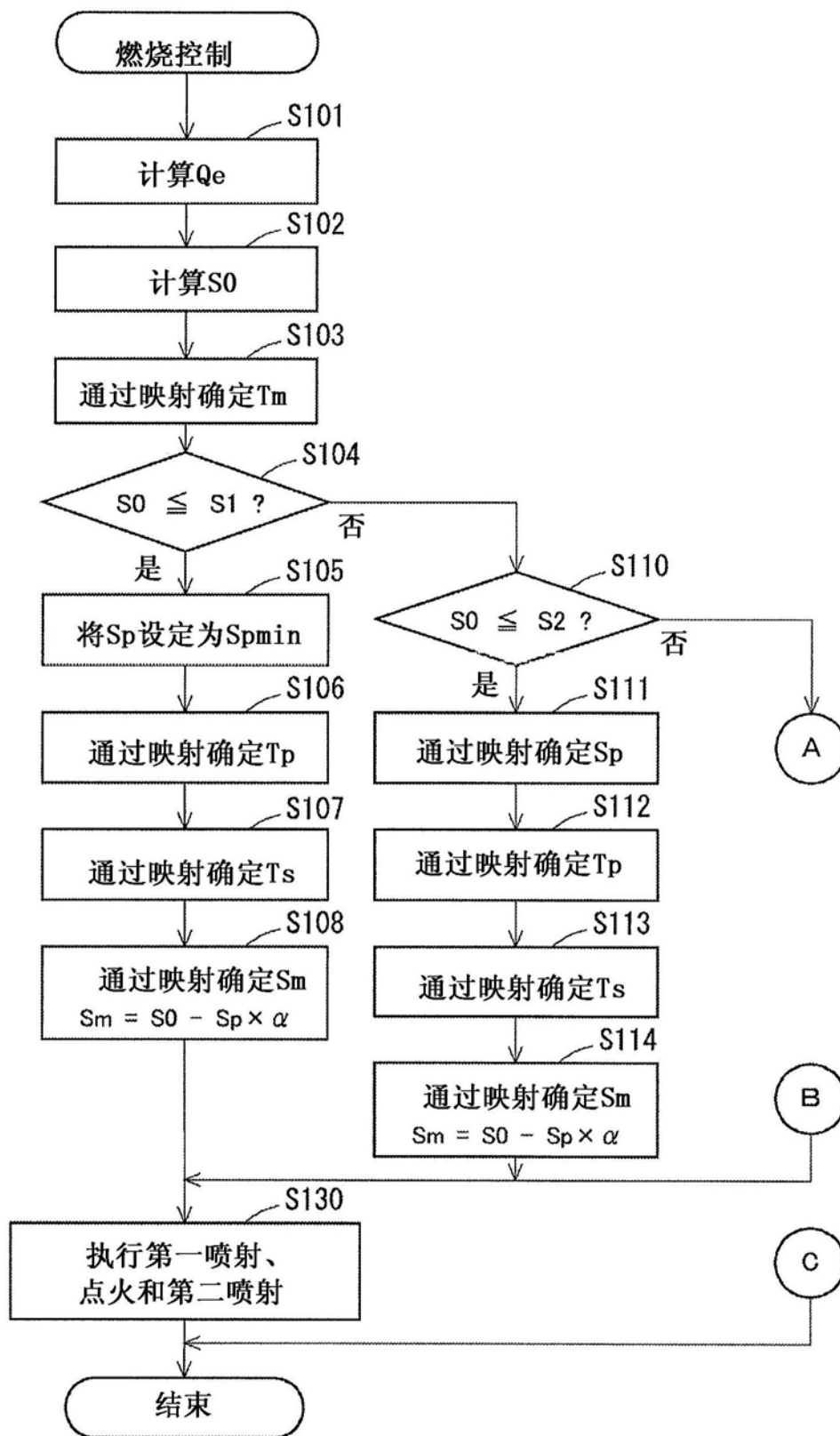


图11

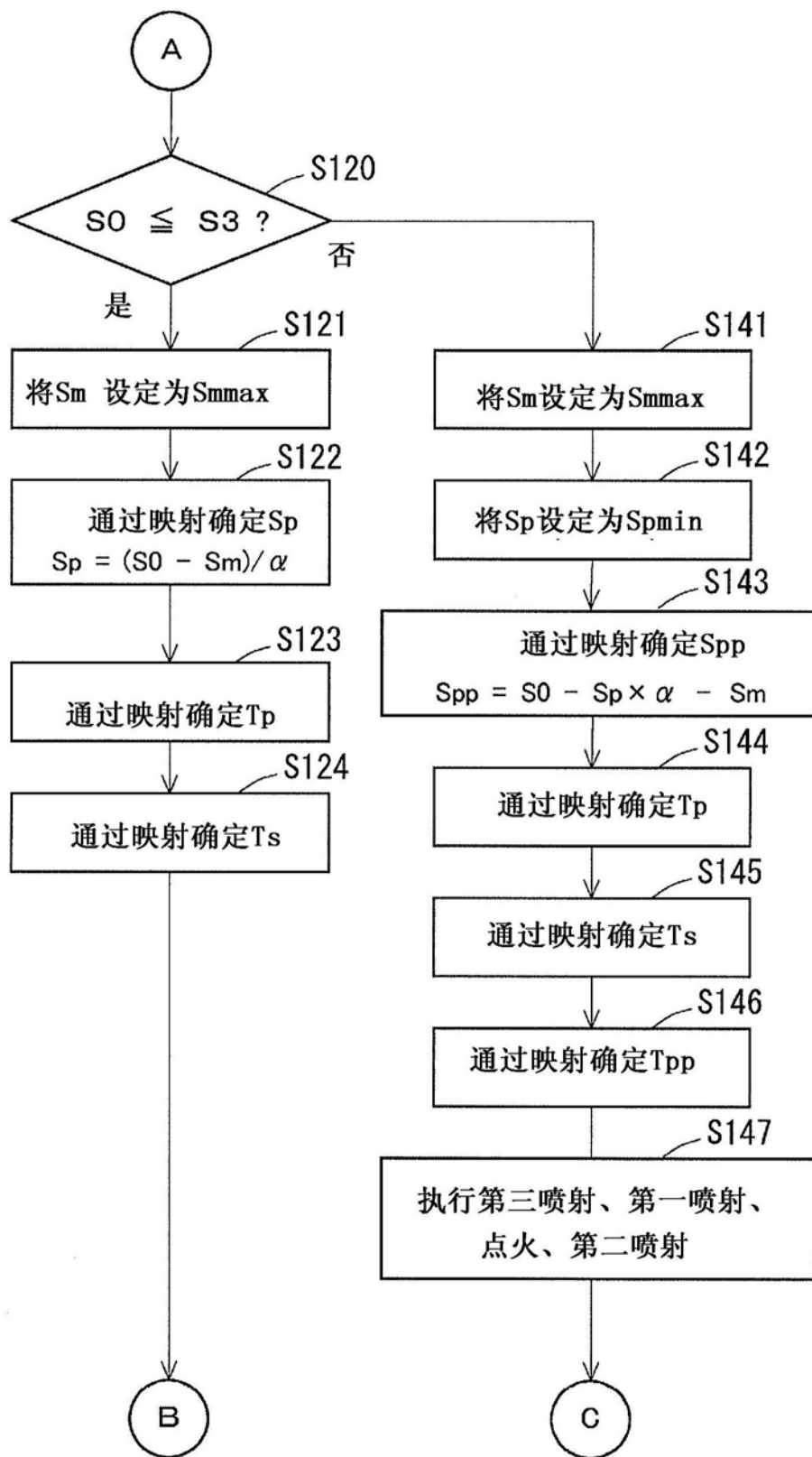
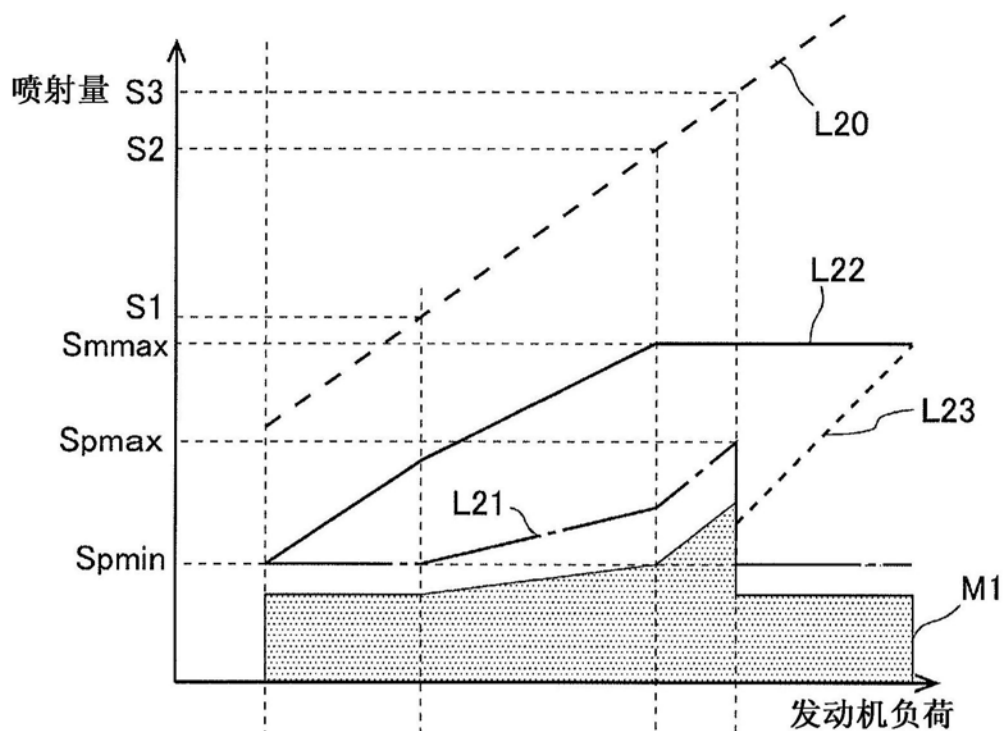


图12

(a)



(b)

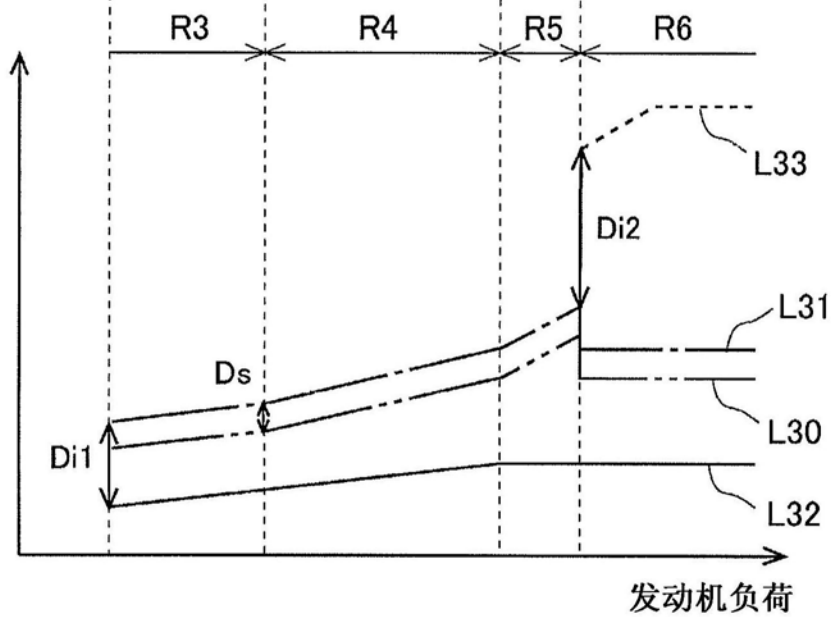
曲柄角
(BTDC)

图13

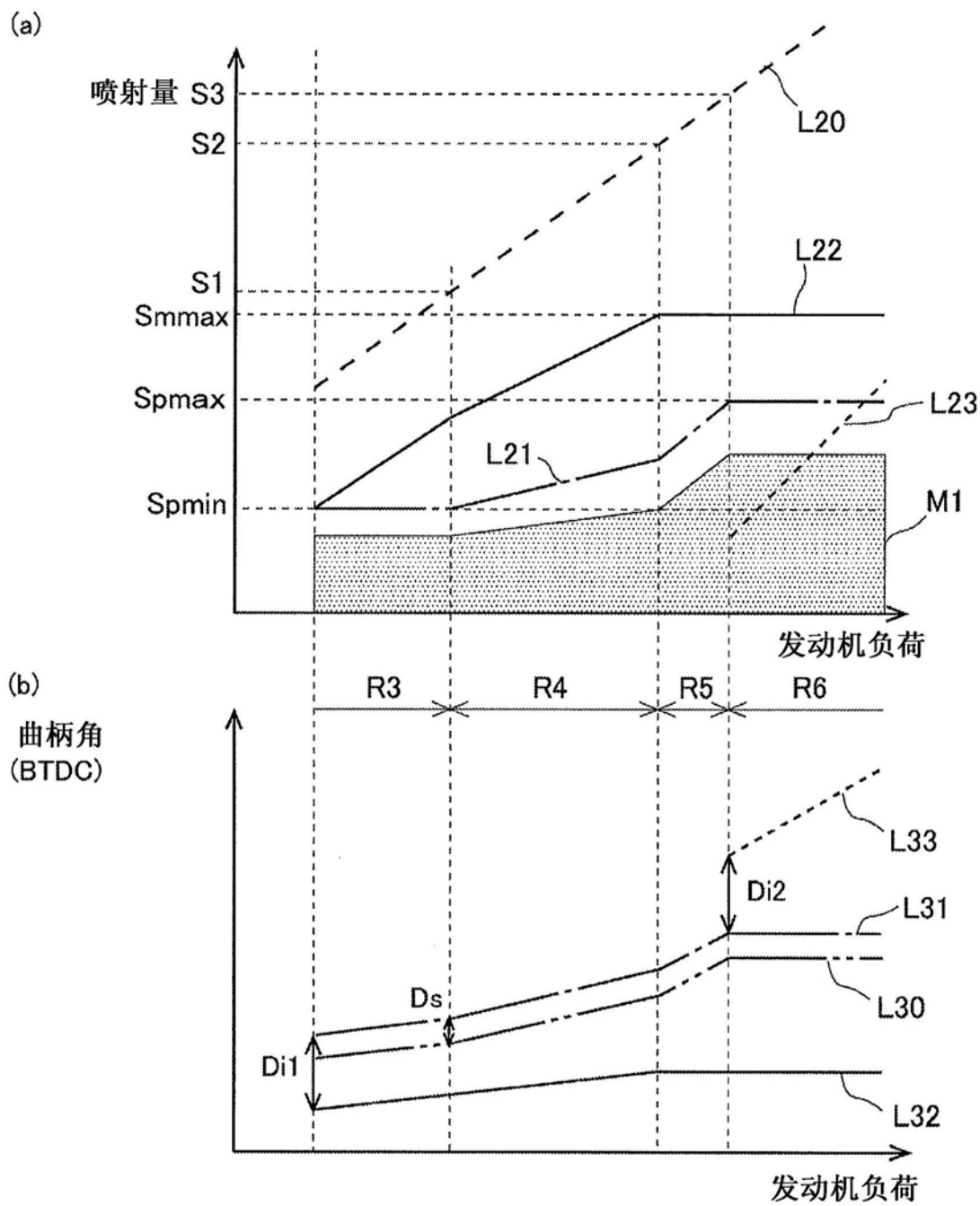


图14

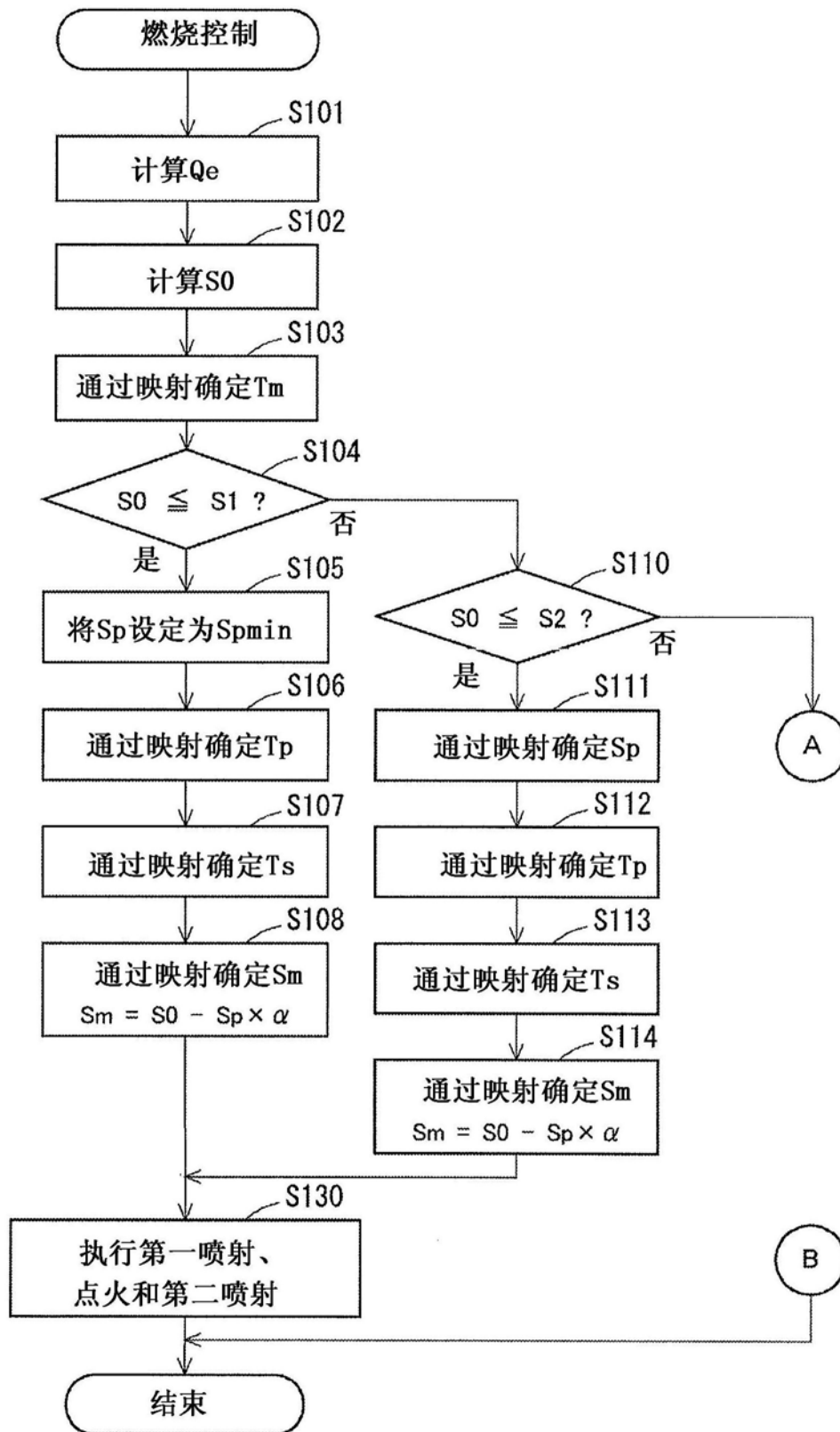


图15

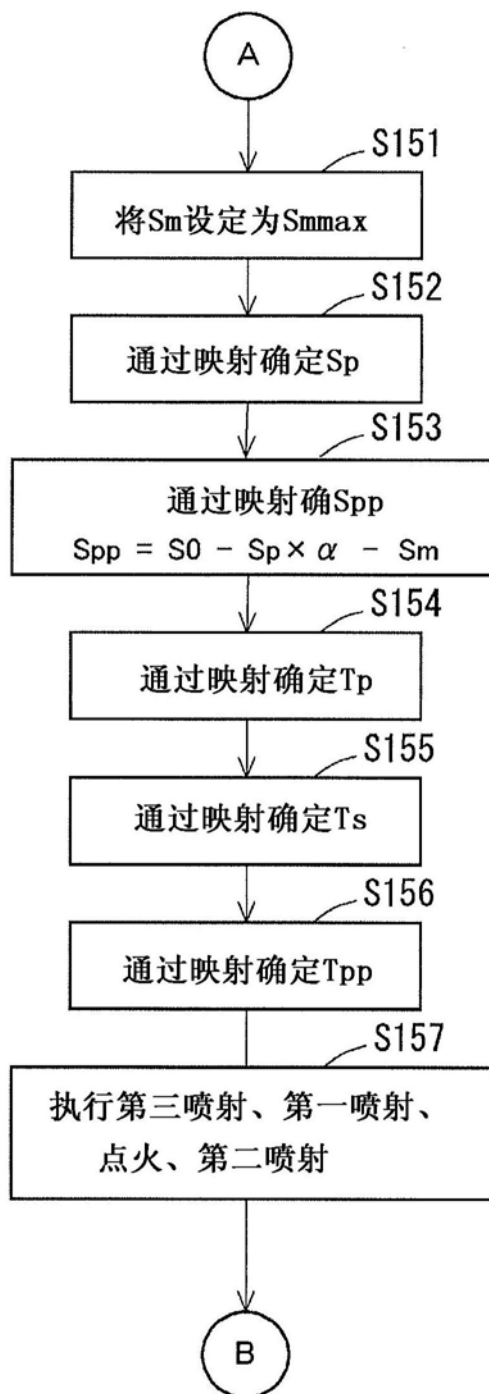


图16

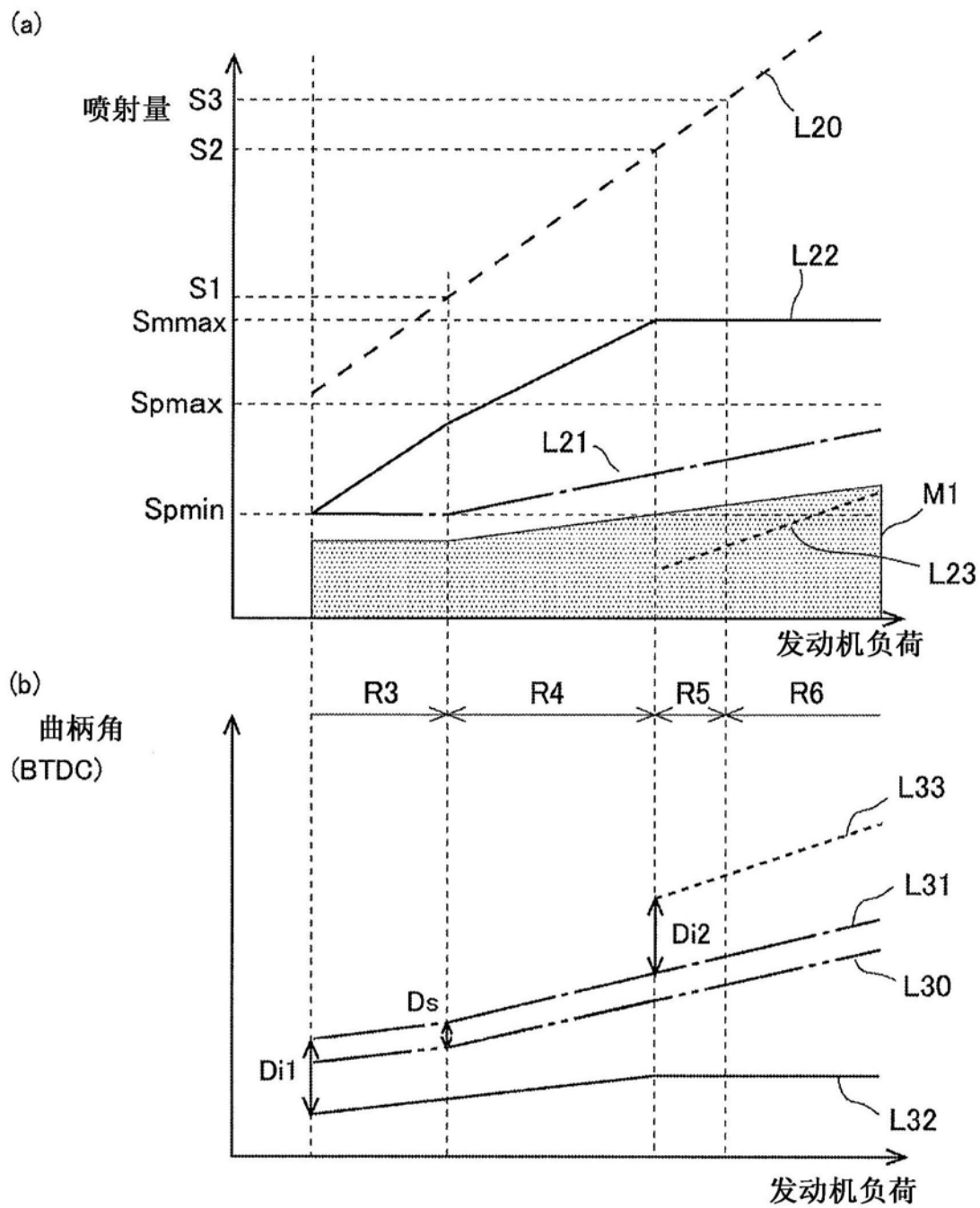


图18