



(10) 授权公告号 CN 111247321 B

(45) 授权公告日 2022.12.30

(21) 申请号 201880048263.6

安德鲁·沃德 罗伯特·摩根

(22) 申请日 2018.07.20

(74) 专利代理机构 广州三环专利商标代理有限公司 44202

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 111247321 A

专利代理师 熊永强

(43) 申请公布日 2020.06.05

(51) Int.Cl.

(30) 优先权数据

1712120.3 2017.07.27 GB

F02B 33/08 (2006.01)

F02B 29/04 (2006.01)

F02M 25/00 (2006.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2020.01.20

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/GB2018/052060 2018.07.20

(87) PCT国际申请的公布数据

W02019/020978 EN 2019.01.31

(73) 专利权人 多尔芬N2有限公司

地址 英国萨塞克斯郡

(56) 对比文件

CN 106304838 A, 2017.01.04

WO 2016120598 A1, 2016.08.04

US 2010263646 A1, 2010.10.21

US 2013220245 A1, 2013.08.29

CN 1675456 A, 2005.09.28

CN 101545405 A, 2009.09.30

CN 104727928 A, 2015.06.24

(72) 发明人 理查德·奥斯本 肯·彭德尔伯里

马修·凯南 安德鲁·阿特金斯

审查员 田丹

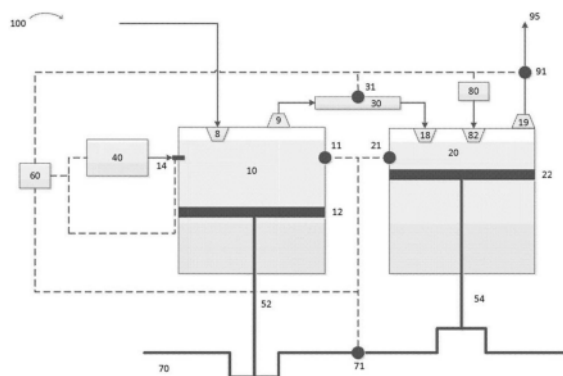
权利要求书5页 说明书15页 附图12页

(54) 发明名称

分置循环发动机

(57) 摘要

分体循环内燃发动机,其包括容纳压缩活塞的压缩气缸;和容纳燃烧活塞的燃烧气缸;压缩气缸和燃烧气缸之间的跨接通道,其被布置为向燃烧气缸提供工作流体;控制器,其被布置为基于所接收的燃烧气缸中燃烧峰值温度的指示来确定燃烧气缸中燃烧峰值温度;冷却剂系统,其被配置为调节供应到燃烧气缸的工作流体的温度;其中,响应于确定燃烧峰值温度超过选定的阈值,控制器被配置为控制冷却剂系统以调节供应到燃烧气缸的工作流体的温度,使得燃烧气缸中的燃烧峰值温度小于所选的阈值。



1. 一种分置循环内燃发动机,包括:  
压缩气缸,其容纳压缩活塞;  
燃烧气缸,其容纳燃烧活塞;  
所述压缩气缸和所述燃烧气缸之间的跨接通道,其被布置为向所述燃烧气缸供应工作流体;  
控制器,其被布置为基于接收的所述燃烧气缸中的燃烧峰值温度的指示来确定所述燃烧气缸中燃烧峰值温度;以及  
冷却剂系统,其被布置为调节供应到所述燃烧气缸的所述工作流体的温度;  
其中,响应于确定所述燃烧峰值温度超过选定的阈值,所述控制器被配置为控制所述冷却剂系统以调节供应到所述燃烧气缸的所述工作流体的温度,使得所述燃烧气缸中的燃烧峰值温度小于所述选定的阈值。
2. 根据权利要求1所述的分置循环内燃发动机,其中,调节供应到所述燃烧气缸的所述工作流体的温度包括冷却所述压缩气缸和所述跨接通道中的至少一个中的工作流体。
3. 根据权利要求1或2所述的分置循环内燃发动机,其中,调节供应到所述燃烧气缸的所述工作流体的温度,使得所述燃烧气缸中的燃烧峰值温度小于所述选定的阈值,包括调节在所述跨接通道中的所述工作流体的进气温度,使得其小于进气阈值。
4. 根据权利要求3所述的分置循环内燃发动机,其中,基于所述选定的阈值选择所述进气阈值,使得所述进气阈值小于所述选定的阈值。
5. 根据权利要求1或2所述的分置循环内燃发动机,其中,所述冷却剂系统包括冷却剂喷射器,其用于将冷却剂喷射到所述压缩气缸和所述跨接通道中的至少一个中。
6. 根据权利要求5所述的分置循环内燃发动机,其中,调节供应到所述燃烧气缸的所述工作流体的温度包括将冷却剂喷射到所述压缩气缸和所述跨接通道中的至少一个中。
7. 根据权利要求1或2所述的分置循环内燃发动机,其中,所述发动机包括排气传感器,其用于提供所述燃烧气缸的排气出口中的温度的指示,并且其中,所接收的峰值温度的指示基于来自所述排气传感器的信号。
8. 根据权利要求1或2所述的分置循环内燃发动机,其中,所述发动机包括供应传感器,其用于提供供应给所述燃烧气缸的工作流体的温度的指示,并且其中,所接收的峰值温度的指示基于从所述供应传感器接收到的信号。
9. 根据权利要求8所述的分置循环内燃发动机,其中,所述供应传感器包括所述跨接通道中的传感器。
10. 根据权利要求1或2所述的分置循环内燃发动机,其中,确定所述燃烧气缸中的所述燃烧峰值温度包括,基于与所述发动机相关联的至少一个参数和从传感器接收的至少一个信号,以识别所述燃烧峰值温度的估值。
11. 根据权利要求10所述的分置循环内燃发动机,其中,所述至少一个参数包括下述中的至少一个:(i) 对所述发动机的需求,(ii) 指示所述发动机已经运行的持续时间的计时器,以及(iii) 所述发动机的温度。
12. 根据权利要求10所述的分置循环内燃发动机,其中,所述控制器被配置为基于与所述至少一个参数相关联的发动机先前的燃烧峰值温度数据而确定所述燃烧峰值温度。
13. 根据权利要求1或2所述的分置循环内燃发动机,其中,调节所述工作流体的温度包

括：

响应于确定所述燃烧峰值温度超过所述选定的阈值，控制所述冷却剂系统以增加供应到所述燃烧气缸的所述工作流体的冷却。

14. 根据权利要求1或2所述的分置循环内燃发动机，其中，调节所述工作流体的温度包括：

响应于确定所述燃烧峰值温度低于冷却阈值，控制所述冷却剂系统以减少供应到所述燃烧气缸的所述工作流体的冷却，其中所述冷却阈值小于所述选定的阈值。

15. 根据权利要求1或2所述的分置循环内燃发动机，其中，所述选定的阈值的温度被选择以抑制NO<sub>x</sub>和/或微粒的生成。

16. 根据权利要求1或2所述的分置循环内燃发动机，其中，所述选定的阈值小于NO<sub>x</sub>生成的点，该点通常为2100开尔文。

17. 根据权利要求1或2所述的分置循环内燃发动机，其中，所述控制器被配置为接收以下的至少一个的指示：(i) 供应到所述燃烧气缸的所述工作流体的压强，(ii) 供应到所述燃烧气缸的所述工作流体的温度，(iii) 与进气阀的打开和关闭相关联的定时，用以允许所述工作流体流入所述燃烧气缸，以及(iv) 将燃料喷射到所述燃烧气缸中的定时，以及

其中，所述控制器被配置为基于所接收的指示来确定所述燃烧峰值温度。

18. 根据权利要求1或2所述的分置循环内燃发动机，其中，所述控制器被配置为控制以下的至少一个：(i) 供应到所述燃烧气缸的所述工作流体的压强，(ii) 供应到所述燃烧气缸的所述工作流体的温度，(iii) 与进气阀的打开和关闭相关联的定时，以允许所述工作流体流入所述燃烧气缸，以及(iv) 将燃料喷射到所述燃烧气缸中的定时，使得所述燃烧气缸中的所述燃烧峰值温度小于所述选定的阈值。

19. 一种分置循环内燃发动机，包括：

压缩气缸，其容纳压缩活塞；

燃烧气缸，其容纳燃烧活塞；

所述压缩气缸和所述燃烧气缸之间的跨接通道，其被布置为向所述燃烧气缸供应工作流体；

进气阀，用于控制工作流体从所述跨接通道进入所述燃烧气缸的流量，其中，所述进气阀可操作以：(i) 在所述活塞的循环期间在第一位置从关闭状态运动到打开状态，以及(ii) 在所述活塞的循环期间在第二位置的所述关闭状态运动到所述打开状态；以及

控制器，其被布置为基于接收的所述燃烧气缸中的燃烧峰值温度的指示来确定所述燃烧气缸中燃烧峰值温度；

其中，所述控制器被配置为基于所确定的燃烧峰值温度来选择第一和第二位置，使得所述燃烧气缸中的燃烧峰值温度小于选定的阈值。

20. 根据权利要求19所述的分置循环内燃发动机，其中，选择所述第一位置包括：

响应于确定所述燃烧气缸中的所述燃烧峰值温度超过所述选定的阈值，在所述活塞的循环期间中的较晚的位置控制所述进气阀从所述关闭状态运动到所述打开状态。

21. 根据权利要求19或20所述的分置循环内燃发动机，其中，选择所述第一位置包括：

响应于确定所述燃烧气缸中的所述燃烧峰值温度低于冷却阈值，在所述活塞的循环期间中的较早的位置控制所述进气阀从所述关闭状态运动到所述打开状态。

22. 根据权利要求20所述的分置循环内燃发动机, 其中, 选择所述第二位置包括:  
响应于所述进气阀在较晚位置打开, 在所述活塞的循环期间中的较晚的位置控制所述进气阀从所述打开状态到所述关闭状态。

23. 根据权利要求21所述的分置循环内燃发动机, 其中, 选择所述第二位置包括:  
响应于所述进气阀在较早位置打开, 在所述活塞的循环期间中的较早的位置控制所述进气阀从所述打开状态到所述关闭状态。

24. 根据权利要求19或20所述的分置循环内燃发动机, 其中, 所述发动机包括排气传感器, 其用于提供所述燃烧气缸的排气出口中的温度的指示, 并且其中, 所接收的峰值温度的指示基于接收的来自所述排气传感器的信号。

25. 根据权利要求19或20所述的分置循环内燃发动机, 其中, 所述发动机包括供应传感器, 其用于提供供应给所述燃烧气缸的工作流体的温度的指示, 并且其中, 接收的峰值温度的指示基于从所述供应传感器接收到的信号。

26. 根据权利要求25所述的分置循环内燃发动机, 其中, 所述供应传感器包括所述跨接通道中的传感器。

27. 根据权利要求19或20所述的分置循环内燃发动机, 其中, 确定所述燃烧气缸中的所述燃烧峰值温度包括, 基于与所述发动机相关联的至少一个参数和从传感器接收的至少一个信号, 识别所述燃烧峰值温度的估值。

28. 根据权利要求27所述的分置循环内燃发动机, 其中, 所述至少一个参数包括下述中的至少一个: (i) 对所述发动机的需求, (ii) 指示所述发动机已经运行的持续时间的计时器, 以及 (iii) 所述发动机的温度。

29. 根据权利要求19或20所述的分置循环内燃发动机, 其中, 所述选定的阈值的温度被选择以抑制NO<sub>x</sub>和/或微粒的生成。

30. 根据权利要求19或20所述的分置循环内燃发动机, 其中, 所述选定的阈值小于NO<sub>x</sub>生成的点, 其通常为2100开尔文。

31. 一种分置循环内燃发动机, 包括:

压缩气缸, 其容纳压缩活塞;

燃烧气缸, 其容纳燃烧活塞;

所述压缩气缸和所述燃烧气缸之间的跨接通道, 其被布置为向所述燃烧气缸提供工作流体;

燃料喷射器, 用于在活塞的循环过程中在喷射位置处将燃料喷射到所述燃烧气缸中; 控制器, 其被配置为基于接收的所述燃烧气缸中燃烧峰值温度的指示来确定所述燃烧气缸中燃烧峰值温度;

其中, 所述控制器被配置为基于所确定的燃烧峰值温度来选择喷射位置, 使得所述燃烧气缸中的燃烧峰值温度小于选定的阈值。

32. 根据权利要求31所述的分置循环内燃发动机, 其中, 选择所述喷射位置包括:  
响应于确定所述燃烧气缸中的所述燃烧峰值温度大于选定的阈值, 选择延迟喷射位置;

响应于确定所述燃烧气缸中的所述燃烧峰值温度大于冷却阈值, 选择较早喷射位置;

其中在所述活塞的循环期间中所述延迟喷射位置在所述较早喷射位置之后。

33. 一种分置循环内燃发动机, 包括:

压缩气缸, 其容纳压缩活塞;

燃烧气缸, 其容纳燃烧活塞;

所述压缩气缸和所述燃烧气缸之间的跨接通道, 其被布置为向所述燃烧气缸提供工作流体;

控制器; 以及

冷却剂系统, 其被布置为调节供应到所述燃烧气缸的所述工作流体的温度;

其中, 所述控制器被配置为基于对所述燃烧气缸中燃烧峰值温度的估值来控制所述冷却剂系统以调节供应到所述燃烧气缸的所述工作流体的温度, 使得所述燃烧气缸中的燃烧峰值温度在选定的范围内。

34. 根据权利要求33所述的分置循环内燃发动机, 其中, 所述控制器被布置为确定所述燃烧气缸中的燃烧峰值温度的估值。

35. 根据权利要求33或34所述的分置循环内燃发动机, 其中, 所述控制器被配置为基于接收的所述工作流体的温度的指示来确定所述燃烧气缸中的燃烧峰值温度的估值。

36. 根据权利要求35所述的分置循环内燃发动机, 其中, 所述控制器被配置为基于接收到的所述发动机需求的指示来确定所述燃烧气缸中的燃烧峰值温度的估值。

37. 根据权利要求33所述的分置循环内燃发动机, 其中, 选择所述范围包括:

选择所述范围的下限大于或等于冷却阈值温度; 以及

选择所述范围的上限小于或等于选定的阈值温度。

38. 根据权利要求37所述的分置循环内燃发动机, 其中, 所述范围的所述上下限是基于所述发动机需求而确定的。

39. 一种控制分置循环内燃发动机的方法, 包括:

压缩气缸, 其容纳压缩活塞;

燃烧气缸, 其容纳燃烧活塞;

所述压缩气缸和所述燃烧气缸之间的跨接通道, 其被布置为向所述燃烧气缸提供工作流体; 以及

冷却剂系统, 其被布置为调节供应到所述燃烧气缸的所述工作流体的温度;

其中, 所述方法包括:

接收所述燃烧气缸中燃烧峰值温度的指示;

根据所接收的指示确定所述燃烧气缸中燃烧峰值温度; 以及

响应于确定所述燃烧峰值温度超过选定的阈值, 控制所述冷却剂系统以调节供应到所述燃烧气缸的所述工作流体的温度, 使得所述燃烧气缸中的燃烧峰值温度小于所述选定的阈值。

40. 一种控制分置循环内燃发动机的方法, 包括:

压缩气缸, 其容纳压缩活塞; 燃烧气缸, 其容纳燃烧活塞;

所述压缩气缸和所述燃烧气缸之间的跨接通道, 其被布置为向所述燃烧气缸提供工作流体; 以及

进气阀, 用于控制工作流体从所述跨接通道进入所述燃烧气缸的流量, 其中, 所述进气阀可操作以: (i) 在所述活塞的循环期间在第一位置从关闭状态运动到打开状态, 以及 (ii)

在所述活塞的循环期间在第二位置从所述关闭状态运动到所述打开状态；

其中，所述方法包括：

接收所述燃烧气缸中燃烧峰值温度的指示；

根据所接收的指示确定所述燃烧气缸中燃烧峰值温度；以及

基于所确定的燃烧峰值温度来选择第一和第二位置，使得所述燃烧气缸中的燃烧峰值温度小于选定的阈值。

41. 一种操作分置循环内燃发动机的方法，包括：

压缩气缸，其容纳压缩活塞；

燃烧气缸，其容纳燃烧活塞；

所述压缩气缸和所述燃烧气缸之间的跨接通道，其被布置为向所述燃烧气缸提供工作流体；以及

燃料喷射器，在所述活塞的循环期间中在喷射位置将燃料喷射到所述燃烧气缸中；

其中，所述方法包括：接收所述燃烧气缸中燃烧峰值温度的指示；

根据所接收的指示确定所述燃烧气缸中燃烧峰值温度；以及

基于所确定的燃烧峰值温度来选择喷射位置，使得所述燃烧气缸中的燃烧峰值温度小于选定的阈值。

42. 一种操作分置循环内燃发动机的方法，包括：

压缩气缸，其容纳压缩活塞；

燃烧气缸，其容纳燃烧活塞；

所述压缩气缸和所述燃烧气缸之间的跨接通道，其被布置为向所述燃烧气缸提供工作流体；以及

冷却剂系统，其被布置为调节供应到所述燃烧气缸的所述工作流体的温度；

其中，所述方法包括：

基于对所述燃烧气缸中燃烧峰值温度的估值来控制所述冷却剂系统以调节供应到所述燃烧气缸的工作流体的温度，使得所述燃烧气缸中的燃烧峰值温度在选定的范围内。

43. 一种计算机程序产品，包括被配置为对处理器进行编程以执行权利要求39至42中任一项所述的方法的程序指令。

## 分置循环发动机

### 技术领域

[0001] 本发明涉及分置循环内燃发动机(Split Cycle Internal Combustion Engine)及其操作方法。

### 背景技术

[0002] 常规的内燃发动机基于奥托和迪塞尔循环运行。这种循环与效率(进而性能)的提高以及NO<sub>x</sub>、颗粒物和二氧化碳排放的生成之间的基本的紧密关系相关联。随着对大气污染和全球变暖的担忧日益增加,有关此类排放的现代法规也越来越严格。从对这种发动机循环的回顾,可以看出,循环效率的提高导致温度升高,这反过来又导致对于该效率的NO<sub>x</sub>形成的增加以及对材料性能限制。为了减轻NO<sub>x</sub>的形成,已经提出有必要以排气的后处理的形式引入额外的设备复杂性。

[0003] 对于奥托循环和迪塞尔循环两者,效率基于压缩结束时的压强。迪塞尔循环效率还取决于燃烧速率,因为转速和燃烧速率影响燃烧开始和结束之间的体积比。提高现代发动机的效率因此也受到实际材料的限制。这是因为与发动机相关联的峰值温度和压强可能会达到很高的水平。

[0004] NO<sub>x</sub>化合物的形成发生在空气燃料混合物的温度升高到2100K以上的区域。例如,这可能发生在局部的“热点”上,或者可能发生在更大的范围内,例如遍及整个发动机气缸。NO<sub>x</sub>化合物与人类呼吸系统健康问题相关,因此,此类化合物的生产以及这些化合物向大气中的排放会构成重大的健康风险。而且,这些化合物的形成是吸热的,因此对于将化学能最大化转化为功而言,它们固有地无用。

[0005] 英国专利申请No.1622114.5、1706792.7和1709012.7公开了一种分置循环内燃发动机(Split Cycle Internal Combustion Engine),其使用冷却剂喷射器用于低温流体(已经通过制冷过程冷凝成其液相的流体)。

### 发明内容

[0006] 本发明的各方面如独立权利要求所述,而可选特征则如各从属权利要求所述。本发明的各方面可以被彼此结合地提供,并且一个方面的特征可以应用于其他方面。

### 附图说明

[0007] 现在将参考附图仅以举例的方式描述本公开的各方面,其中:

[0008] 图1示出了示例性的分置循环内燃发动机装置的示意图。

[0009] 图2示出了示例性的分置循环内燃发动机装置的示意图。

[0010] 图3示出了用于示例性的分置循环内燃发动机运作的温度-熵线图。

[0011] 图4示出了图3的温度-熵线图,并在曲线图上示出了恒定压强线。

[0012] 图5示出了曲线图,该曲线图示出了基于当量比、起始温度和结束温度的示例性使用分置循环内燃发动机的场景。

- [0013] 图6示出了流程图,该流程图示出了分置循环内燃发动机的示例性运作方法。
- [0014] 图7示出了流程图,该流程图示出了分置循环内燃发动机的示例性运作方法。
- [0015] 图8示出了流程图,该流程图示出了分置循环内燃发动机的示例性运作方法。
- [0016] 图9示出了流程图,该流程图示出了分置循环内燃发动机的示例性运作方法。
- [0017] 图10示出了流程图,该流程图示出了分置循环内燃发动机的示例性运作方法。
- [0018] 图11示出了流程图,该流程图示出了分置循环内燃发动机的示例性运作方法。
- [0019] 图12示出了流程图,该流程图示出了分置循环内燃发动机的示例性运作方法。

### 具体实施方式

[0020] 在一个示例中,公开了一种分置循环内燃发动机,其包括控制器,该控制器被配置为控制冷却剂系统,使得燃烧气缸中的燃烧峰值温度低于选定的阈值。控制器可以控制燃烧峰值温度,以抑制燃烧过程中 $\text{NO}_x$ 和颗粒的生成,这具有明显的环境效益,因为这些化学物质是已知损害人类健康的。

[0021] 在一个示例中,公开了一种分置循环内燃发动机,其包括控制器,该控制器被配置为控制进气阀的打开和关闭,以控制进入燃烧气缸的工作流体的流动。控制器可以控制进气阀在选定的时间打开和关闭来控制燃烧峰值温度,以抑制燃烧过程中 $\text{NO}_x$ 和颗粒的生成,这具有明显的环境效益,因为这些化学物质是已知损害人类健康的。

[0022] 在一个示例中,公开了一种分置循环内燃发动机,其包括控制器,该控制器被配置为基于接收的发动机工况指示来控制反应性调节器以调节燃料的反应性。当燃料反应性低时,控制器可以控制反应性调节器以增加燃料的反应性。这能够提高效率,因为可以实现更大比例的燃料的燃料燃烧。

[0023] 在一个示例中,公开了一种分置循环内燃发动机,其包括控制器,该控制器被配置为控制燃料喷射器喷射燃料进入燃烧气缸的喷射定时。控制器可以控制喷射器的定时以控制燃烧气缸中燃烧的峰值温度。这可以使控制器能够抑制燃烧过程中生成的 $\text{NO}_x$ 和颗粒,因为可以实现较低的峰值温度。这具有明显的环境效益,因为这些化学物质是已知损害人类健康的。

[0024] 在一个示例中,公开了一种分置循环内燃发动机,其包括控制器,该控制器被配置为基于对燃烧峰值温度的估算而控制冷却剂系统,由此保持燃烧峰值温度在选定范围内。这可以使控制器能够防止发动机在足够高的温度的运转下的燃烧过程中释放 $\text{NO}_x$ 和颗粒物,并且其可以防止发动机运转在足够低的温度下导致发动机性能受到影响。在一个示例中,公开了一种分置循环内燃发动机,其包括控制器,该控制器被配置为控制冷却剂系统,使得在跨接通道中的工作流体会以大于速度阈值的速度流入燃烧气缸。这能够在燃烧之前使燃料与工作流体更好地混合。这可能会降低燃料的浓稠度,从而提供更稀薄的空气-燃料混合物,从而使燃料完全燃烧并抑制例如烟灰的微粒的生成。它也可以减少任何在更高峰值温度发生燃烧的“热点”的出现,该“热点”产生 $\text{NO}_x$ 或其它不期望的污染物。

[0025] 在一个示例中,公开了一种分置循环内燃发动机,其包括控制器,该控制器被配置为控制一个由通往燃烧气缸的进气阀限定的横截面区域,使得工作流体会以大于速度阈值的速度流入燃烧气缸。这可以在燃烧之前使燃料与工作流体更好地混合。这可以减少燃料的浓稠度并减少任何产生 $\text{NO}_x$ 或颗粒“热点”出现。



[0026] 图1示出了分置循环内燃发动机100的第一示例,其被布置为控制燃烧峰值温度使得其低于选定的阈值。发动机100被布置为向控制器60提供燃烧峰值温度的指示,控制器60基于该指示确定燃烧峰值温度。基于确定的燃烧峰值温度,控制器60控制冷却剂系统以调节供应至发动机100的燃烧气缸20的工作流体的温度。特别地,冷却剂系统可以被布置为控制该温度,使得发动机100的压缩气缸10和燃烧气缸20之间的跨接通道30中的工作流体足够冷,使得当在燃烧气缸20中使用该工作流体时,作为燃烧过程的一部分,燃烧峰值温度不超过选定的阈值。控制器60可以基于反馈回路进行操作,该反馈回路控制冷却剂系统的运作,从而可以将要供应给燃烧气缸20的工作流体的温度控制在选定范围内。这可以使得能够控制燃烧峰值温度,从而可以抑制例如 $\text{NO}_x$ 化合物的产生。反馈回路还可以基于冷却阈值,其中响应于控制器确定的燃烧峰值温度低于冷却阈值,控制器控制冷却剂系统以调节工作流体的温度,从而使冷却剂的燃烧峰值温度超过冷却阈值。这可以使控制器能够控制发动机在选定的峰值温度范围内运行。如图所示,图1示出了分置循环内燃发动机100装置,其包括压缩气缸10和燃烧气缸20。压缩气缸10容纳压缩活塞12,该压缩活塞12通过连杆52连接到在曲轴70的一部分上的相应的曲柄。燃烧气缸20容纳燃烧活塞22,该燃烧活塞22通过连杆54连接到在曲轴70的一部分上的相应的曲柄。压缩气缸10经由跨接通道30连接至燃烧气缸20。跨接通道30可包括同流换热器,其可用于传热。压缩气缸10包括用于从发动机100的外部接收流体的入口端口8和连接至跨接通道30的出口端口9。出口端口9包括阀,例如止回阀,使得压缩流体不能回流到压缩气缸10中。燃烧气缸20包括也连接到跨接通道30的进气阀18和用于将排气从燃烧气缸20传递到排气的排气阀19。这些离合器通过跨接通道30在压缩气缸10和燃烧气缸20之间提供流体流动路径。发动机100还包括冷却剂系统。冷却剂系统被示出为包括液体冷却剂储存器40,该液体冷却剂储存器40经由限定了液体流动路径的冷却剂喷射器14连接至压缩气缸10。冷却剂系统还可包括用于将冷却剂喷射到跨接通道30中的喷射器,尽管在图1中未示出。冷却剂系统还可包括使用经由同流换热器的热传递。例如,这可以包括利用来自燃烧气缸的排气中的热量来加热同流换热器。它可以包括利用同流换热器将热量从分置循环内燃发动机100传递出去。发动机100还包括经由燃料喷射器82连接至燃烧气缸20的燃料储存器80,从而在燃料储存器80与燃烧气缸20之间限定了流体流动路径。发动机100包括控制器60和多个传感器,其被图示为连接到控制器60的黑点。但是,应当理解,所示的传感器仅是示例性的,并且可以有不同数量的传感器,或者它们可以放置在不同的位置。例如,入口端口8还可以包括温度传感器。传感器可以通过物理线连接到控制器60,或者可以无线连接。在图1所示的示例中,在压缩气缸10内有压缩传感器11。压缩传感器11可以例如被安装为邻近入口端口8或邻近冷却剂喷射器14。压缩传感器11可以包括温度传感器。图1所示的示例性发动机100还包括在燃烧气缸20内的燃烧传感器21。压缩传感器21可以包括温度传感器;它可以包括压强传感器。还示出了跨接通道30内的跨接传感器31。跨接传感器31可以包括温度传感器;它可以包括压强传感器。另外,发动机100包括安装到曲轴70的曲柄传感器71。曲柄传感器可以提供来自发动机的扭矩需求的指示。还示出了在燃烧气缸20的排气阀19下游的排气传感器91。排气传感器91可以包括温度传感器;它可以包括压强传感器;它可以包括氧含量传感器,该氧含量传感器被配置为提供发动机排气中 $\text{NO}_x$ 浓度的指示。在一些示例中,液体冷却剂储存器40还可包括传感器,例如,用于测量储存器40中容纳的液体的量,例如质量。控制器60还连接至冷却剂喷射器14,燃料喷射

器82和/或储存器80。

[0027] 传感器被配置为向控制器60发送至少一个信号,该信号提供对与发动机100相关联的至少一个参数的指示。发动机100的参数可以包括发动机中的工作流体的温度(在不同位置,例如排气、压缩气缸10、跨接通道30等)。它可以包括发动机中的工作流体的压强;它可以包括对发动机的需求;它可以包括发动机中 $\text{NO}_x$ 生成的值;它可以包括进气阀18的打开和关闭的定时;它可以包括将燃料喷射到燃烧气缸中的定时。发动机100的参数可以包括发动机爆震的指示,例如,这可以基于发动机运转的接收到的声音信号。发动机爆震可能发生在当燃料未在活塞的循环期间的正确时间点火时,并且可基于听取发动机的噪音进行检测,因此发动机爆震的指示可被认为是发动机的参数。

[0028] 例如,在图1所示的示例中,压缩传感器11被配置为测量与压缩气缸10相关联的至少一个参数。燃烧传感器21被配置为测量与燃烧气缸20相关联的至少一个参数。跨接传感器31被配置为测量与跨接通道30相关联的至少一个参数。另外,曲柄传感器71被配置为测量发动机100的转速(RPM),并且排气传感器91被配置为测量通过燃烧气缸20的排气阀19排出的排气的至少一个参数。至少一个参数的这种测量提供了燃烧气缸20中燃烧峰值温度的指示。每个传感器可以将峰值温度的所述指示提供应控制器60,使得控制器60确定燃烧气缸20中的燃烧峰值温度。

[0029] 发动机100被布置为使得空气通过压缩气缸10的入口端口8被吸入到压缩气缸10中。压缩活塞12被布置为压缩该空气,并且在压缩阶段期间,液态冷却剂可以被添加到压缩气缸10中。跨接通道30被布置为经由出口端口9接收工作流体,并且经由进气阀18将其传递到燃烧气缸20中。发动机100还被布置为通过燃料喷射器82将来自燃料储存器80的燃料添加到燃烧气缸20中的工作流体,并且燃烧燃料和工作流体的混合物(例如,通过点火源的操作,未示出)通过转动曲轴70提取有用功。

[0030] 燃料储存器80连接到控制器60,使得控制器60控制燃料到燃烧气缸20中的输送。在一些示例中,控制器60被配置为基于接收到的发动机100的至少一个参数的指示来确定要喷射的燃料量。例如,控制器60可以被配置为经由指示从排气传感器91接收的燃烧峰值温度的信号或指示从曲柄传感器71接收的发动机需求的信号来获得至少一个参数的指示。

[0031] 在操作中,控制器60被配置为接收燃烧峰值温度的指示。从图1中所示的至少一个传感器接收信号。例如,控制器60可以从排气传感器91接收排气中的温度的指示。在控制器从不直接测量燃烧峰值温度的传感器接收到指示的情况下,控制器基于接收到的指示来确定对燃烧气缸20中的燃烧峰值温度的估值。例如,接收的排气中温度的指示可以用于推断燃烧气缸中燃烧峰值温度。在控制器从直接测量燃烧峰值温度的传感器,例如燃烧传感器20,接收到指示的情况下,控制器可以使用峰值温度的指示而不是单独地确定峰值温度。

[0032] 燃烧峰值温度通常发生在活塞22从上止点(TDC)到下止点(“BDC”)的运动的结尾处。在控制器60从不能直接测量该峰值温度的传感器(例如,不在燃烧气缸20中)接收到指示的情况下,控制器60被配置为基于接收到的指示来确定峰值温度的估值。这可以包括使用数学模型,该数学模型可以基于发动机的参数值(例如,跨接通道中的工作流体的温度)来估计燃烧的峰值温度。例如,这样的模型可以包括基于先前的数据来确定值,该值用于在发动机的整个循环中产生热量和/或在燃烧已经发生之后散热和随之而来的冷却。传感器可以测量系统和/或工作流体的参数(例如温度,压强),并且这可以是提供应控制器60的指

示。基于该指示,控制器60可以使用已知的热力学关系来确定对燃烧气缸20中的峰值温度的估值。例如,基于接收到的工作流体的压强和温度的指示,可以确定工作流体的密度(例如,基于用于将压强,温度和密度联系起来的状态的方程式)。

[0033] 在一个示例中,控制器60可以从测量燃烧之后的工作流体的参数的传感器接收燃烧峰值温度的指示。例如,可以由排气传感器91进行测量。排气传感器91可以被配置为测量排气中的工作流体的温度。燃烧后温度提供了燃烧峰值温度的指示。燃烧峰值温度的估值可以基于燃烧后温度,使用先前的数据,例如使用查找表,来确定。应当理解,这可以提供燃烧期间的工作流体的峰值温度很好的近似值,因为工作流体从燃烧气缸20流过排气阀19时时间会在达到燃烧峰值温度的时间的很短之后。因此,排气传感器91可以测量燃烧后的温度,并且基于该测量,将燃烧峰值温度的指示提供应控制器60。然后控制器60基于燃烧后温度确定燃烧峰值温度。燃烧峰值温度大于燃烧后温度。可以使用查找表来确定燃烧峰值温度,该查找表包括燃烧后温度的值与燃烧峰值温度的对应值之间的映射。

[0034] 在另一个示例中,控制器60可以从测量燃烧之前的工作流体的参数的传感器接收燃烧峰值温度的指示。例如,可以由供应传感器进行测量,其中供应传感器可以是指燃烧之前提供发动机或工作流体的参数指示的任何传感器,例如该指示可以来自压缩传感器11或跨接传感器31。跨接传感器31可以被配置为在跨接通道30流入燃烧气缸20之前测量跨接通道30中的工作流体的温度。因此,跨接传感器31可以测量工作流体在燃烧前的温度,并且将该指示提供应控制器60。然后,控制器60基于燃烧前温度来确定对燃烧气缸20中的燃烧峰值温度的估值。燃烧前温度小于燃烧峰值温度。控制器60可以使用查找表来确定燃烧峰值温度的估值,该查找表包括燃烧前温度的值与燃烧峰值温度的对应值之间的映射。可以使用对系统的热力学建模以预测温度的数学模型来确定映射中的值。它们可以包括根据经验确定的值。

[0035] 应当理解,在任一示例中使用的查找表还可以包括其他参数。查找表因此可以使控制器60能够基于发动机100的当前状况和工作流体的温度(例如,燃烧前或燃烧后温度)来确定燃烧峰值温度的估值。例如,其他参数之一可以包括对发动机100的需求的指示,该指示可以基于从曲柄传感器71接收的信号来确定。一个参数可以包括指示发动机100已经运行的持续时间的计时器。这可以提供发动机温度的指示,因为在发动机启动期间,在发动机升温的同时,工作温度将较低。因此,发动机已经运转的时间可以提供发动机本身可能的温度的指示。一个参数可以包括发动机100的整体温度的指示。应当理解,其他参数可以包括任何合适的参数,其可以影响燃烧气缸20中的燃烧峰值的确定。例如,在发动机100的启动期间,燃烧气缸20可以比正常运转期间更冷,因此工作流体在燃烧前温度和峰值燃烧温度之间增加的温度可以小于在长时间使用后更热的燃烧气缸20,或在需求较高的情况下。基于发动机100(例如,燃烧气缸20)的温度的指示,或者例如基于指示发动机100已经运行了多长时间的定时器,从燃烧前温度到燃烧峰值温度的映射可以提供燃烧气缸20中的燃烧峰值温度的更精确的估值。

[0036] 控制器60被布置为响应于确定工作流体的温度大于选定的阈值来控制冷却剂系统冷却工作流体。在发动机100启动期间,发动机100将在较低温度下运行,因此控制器60可确定燃烧峰值温度的估值远低于选定的阈值。在这种情况下,控制器60可以控制冷却剂系统,使得很少或没有冷却发生。一旦发动机100已经从启动状态前进到正常运作模式,则控

制器60被配置为确定燃烧峰值温度并控制冷却剂系统以调节工作流体的温度。控制冷却剂系统基于反馈回路,该反馈回路包括程式化地监测燃烧峰值温度并控制工作流体的冷却,使得燃烧峰值温度不超过选定的阈值。响应于确定燃烧峰值温度超过选定的阈值,控制器60被配置为操作冷却剂系统以增加工作流体的冷却。在图1所示的示例中,这包括控制冷却剂喷射器14以将更多的冷却剂喷射到压缩气缸10中。虽然,应当理解,可以提供控制工作流体的温度的其他方式(例如,通过使用同流换热器的热传递)。随着压缩气缸10中的工作流体被压缩,工作流体的一些增加的热量可以被喷射的冷却剂吸收。冷却剂将吸收一部分热量以克服其汽化潜热,这将起到抑制燃烧气缸20中温度升高的作用。因此,通过控制喷射到燃烧气缸20中的冷却剂的量,控制器60可以控制工作流体的热量。特别是,控制器60可以在跨接通道30中的工作流体流入燃烧气缸20之前的影响工作流体的热量。

[0037] 选定的阈值包括燃烧峰值温度的评判标准。控制器可基于包括估计的燃烧峰值温度和评判标准的比较来确定是否满足评判标准。选定的阈值可以是最高温度的值,使得大于该最高温度的任何燃烧峰值温度都不满足该标准。可以选择选定的阈值的值以抑制NO<sub>x</sub>化合物的形成。控制器可以将峰值燃烧温度的值与选定的阈值进行比较,其中,该比较是基于燃烧峰值温度的平均值,即整个气缸的峰值温度的“全局”值。在其他示例中,控制器可以将峰值燃烧温度的值与选定的阈值进行比较,其中,该比较是基于燃烧峰值温度的局部峰值。局部峰值可以包括用于在燃烧气缸20的任何区域中的最高的燃烧峰值温度的值。在一些示例中,选定的阈值可以包括两者的值的指示。选定的阈值可能需要的温度等于或小于2200开尔文;它可能需要的温度低于2150开尔文;它可能需要的温度低于2125开尔文;它可能需要的温度低于2100开尔文;它可能需要的温度低于2075开尔文;它可能需要的温度低于2050开尔文;它可能需要的温度低于2000开尔文;它可能需要的温度低于1900开尔文。应当理解,该值可以取决于工作流体和燃料混合物的当量比,因此可以变化。

[0038] 响应于确定燃烧峰值温度大于选定的阈值,控制器60控制冷却剂系统以调节要提供燃烧气缸20的工作流体的温度。如上所述,使用冷却剂系统调节温度。在一个示例中,这可以通过增加喷射到压缩气缸10中的冷却剂的量来实现,但是另外地或可替代地,可以通过控制跨接通道中的来自同流换热器的热传递来实现。控制器60可以被配置为基于所确定的燃烧峰值温度的指示来确定冷却程度。冷却剂系统可以连续方式操作,使得喷射的冷却剂的量与将工作流体的温度冷却到小于选定阈值所需的冷却量成比例。它可以以离散的方式操作,使得在第一选定阈值以上喷射第一体积的冷却剂,而在第二选定阈值以上喷射第二体积的冷却剂。可能存在多个这样的阈值。

[0039] 通过控制冷却剂系统以调节燃烧气缸20中的燃烧峰值温度,控制器60因此可以控制分置循环内燃发动机100,使得燃烧过程处于较低的温度以减少NO<sub>x</sub>化合物的生成。

[0040] 应当理解,尽管已经将控制器描述为控制冷却剂系统以喷射更多的冷却剂,但是可以以其他方式实现相同的结果。例如,这可以通过喷射不同类型的冷却剂或不同温度的冷却剂来实现。另外,应当理解,传感器被配置为向控制器60提供燃烧峰值温度的指示。然而,该指示不一定包括温度,它可以包括对任何合适的热力学参数的测量,由此可以确定燃烧峰值温度。例如,使用已知的热力学关系,可以基于压强值来确定温度值。在另一方面,图1的分置循环内燃发动机100的运作可以通过使用进气阀18的定时以调节燃烧气缸20中的工作流体的温度。进气阀18可操作以在活塞的循环期间在第一位置的关闭状态运动到在活

塞的循环期间第二位置的打开状态。当进气阀18处于打开状态时,跨接通道30中的工作流体可以流入燃烧气缸20,而当进气阀18处于关闭状态时,工作流体可以不进入。在运作中,控制器60可以基于选定的阈值和/或冷却阈值来选择第一和第二位置。可以选择这两个位置,使得将它们相隔一个选定的时间段;该时间段可以是恒定不变的和/或可以是可变的。在循环期间,燃烧气缸20中的燃烧通常在,或非常接近活塞的TDC位置处发生。因此,将第一位置选择为在TDC之前,使得跨接通道30中的工作流体有时间在燃烧发生之前流入燃烧气缸20中。第二位置可以被选择在TDC处或之前,使得燃烧在活塞上提供更大的力。这是因为在燃烧时工作流体膨胀,这导致燃烧活塞22朝其BDC位置移动。如果进气阀在燃烧期间仍处于打开状态,则一部分工作流体可能会移回到跨接通道中,而不是在燃烧活塞22上施加力。因此,如果选择了第二位置,从而在工作流体发生膨胀之前关闭进气阀,则更大的力将被传递到燃烧活塞22。

[0041] 因为第一位置在TDC之前,所以在燃烧发生之前燃烧气缸20中的工作流体将有一些压缩。这将增加该工作流体的温度。燃烧之前的工作流体的温度将影响燃烧气缸20中燃烧峰值温度,因此,通过控制在燃烧气缸20中的该压缩引起的热量上升,控制器60可以调节燃烧气缸20中燃烧峰值温度。燃烧气缸20中的压缩引起的热量上升的量将取决于第一位置。BDC之后的第一位置越早,工作流体的热量就越大。因此,控制器60可以基于确定的所需的热量来选择第一位置。这可以基于所确定的燃烧气缸20中的燃烧峰值温度,以及因此期望的额外的热量来确定,该额外的热量是为了使工作流体在燃烧之前处于选定的温度,从而使得燃烧峰值温度在选定的范围内。

[0042] 例如,响应于确定对燃烧峰值温度的估值大于选定的阈值,控制器60选择第一位置以在活塞的循环期间稍后。响应于确定燃烧峰值温度低于冷却阈值,控制器60将第一位置选择为在活塞的循环期间更早,从而工作流体可以接收更多的热量。同样,控制器60可基于燃烧峰值温度和冷却以及选定的阈值来控制第二位置。在另一方面,图1的分置循环内燃发动机100的运作可以通过使用燃料喷射器82喷射燃料的定时以调节燃烧气缸20中的工作流体的温度。燃料的喷射可以在活塞的循环期间中在喷射位置处发生。喷射可能会发生一个预设的时间段;它可能发生在可变的时间段内;该时间段可以基于要喷射的燃料量。控制器60被配置为基于所确定的燃烧峰值温度的估值来选择喷射位置。例如,响应于确定对燃烧峰值温度的估值大于选定的阈值,控制器60可以控制燃料喷射器82在活塞的循环期间在延迟的喷射位置喷射燃料。延迟的喷射位置可包括在活塞的循环期间中在晚于当前喷射位置发生的位置。响应于确定对燃烧峰值温度的估值,该估值小于冷却阈值,控制器60可以控制燃料喷射器82在活塞的循环期间中在较早的喷射位置处喷射燃料。较早的喷射位置可包括在活塞的循环期间中在当前喷射位置之前发生的位置。

[0043] 通常,燃烧将在燃烧活塞22的TDC位置处或之后不久发生。控制在TDC位置发生的燃烧可以使膨胀力能够在燃烧活塞22上施加更长的时间,同时燃烧活塞22返回到其BDC位置。由燃烧活塞22的位置限定的燃烧气缸20中的容积在活塞的冲程期间改变,并且在燃烧活塞22的TDC位置处将是最低的。在活塞循环的期间,在该TDC位置燃烧比在后面的位置燃烧可导致工作流体的膨胀更大。与TDC之后较晚的燃烧相比,更接近TDC的燃烧也可以导致从起始温度更大的温度变化。结果,对于较早开始的燃烧,燃烧气缸20中的燃烧峰值温度可能更高。没有燃料就不会燃烧。

[0044] 控制器60被配置为在活塞的循环期间中控制燃料喷射器82以在喷射位置将燃料喷射到燃烧气缸20中。控制器可以延迟燃料的喷射,使得在活塞的循环期间(例如,在TDC之后)在较晚的位置喷射燃料。基于所确定的对燃烧气缸20中燃烧峰值温度的估值,控制器可以确定对峰值温度的估值太高并且可能导致NO<sub>x</sub>的生成。作为调节燃烧气缸20中的温度的一种方式,控制器可以延迟燃料的喷射,从而在活塞的循环期间在较晚位置发生燃烧。因此,燃烧的峰值温度可以降低,这可能会抑制NO<sub>x</sub>的生成。

[0045] 在另一方面,图1的分置循环内燃发动机100的运作可以基于燃烧气缸20内燃烧峰值温度的估值,使用控制器60控制冷却剂系统来调节供应到燃烧气缸20的工作流体的峰值温度。控制器60可以使用该估值,使得燃烧气缸20中的燃烧峰值温度在选定范围内。特别是,在发动机100的正常运转期间,控制器可以选择选定的范围,使得燃烧气缸中的燃烧峰值温度不大于选定的阈值和/或不小于冷却阈值。选定的范围可以被选择为冷却阈值和选定的阈值之间的值的范围。这可以使控制器60能够控制发动机的运转,使得效率和NO<sub>x</sub>生成均满足选定的评判标准。

[0046] 控制器60可以基于接收到的发动机参数的指示来确定燃烧峰值温度的估值。例如,控制器60可以基于接收到的对发动机需求的指示来确定估值。在这种情况下,控制器60可以基于对发动机的需求的指示,以及(例如,将被供应到燃烧气缸20的工作流体的温度的指示)预测燃烧气缸20中将达到的燃烧峰值温度的估值。

[0047] 该预测可以基于与引擎100相关联的先前数据。例如,控制器60可以访问查找表,该查找表包括一个或多个值中的至少一个发动机参数与峰值温度的对应估值之间的映射。控制器60可包括机器学习要件,该机器学习要件包括用于基于与发动机有关的输入数据(例如,发动机的参数或自发动机开始运行以来发动机的测量记录)来预测燃烧峰值温度的模型。该机器学习要件可以在与输入数据相关联的已知燃烧峰值温度的数据上被“训练”。这可以使机器学习要件的预测模型能够基于训练数据进行学习和更新,从而该模型可以提供用于预测峰值温度的更可靠和准确的系统。基于该估值,控制器可以控制冷却剂系统,使得燃烧气缸20中的燃烧峰值温度在选定范围内。根据上述示例,图1的分置循环内燃发动机100可以调节工作流体的温度。温度调节可以基于以上示例的组合。

[0048] 图2示出了分置循环内燃发动机100的第二示例,其被布置为控制燃烧峰值温度使得其低于选定的阈值。图2的发动机100类似于图1的发动机100,因此,执行基本相同功能的部件被赋予相同的附图标记,并且将不再赘述。

[0049] 图2的分置循环内燃发动机100还包括反应性调节器85。反应性调节器85连接到控制器60,使得控制器60控制反应性调节器85的运作。反应性调节器85可操作以调节在燃烧过程中使用的燃料的反应性。反应性调节器85被示为可操作以作用于燃料(例如在燃料储存器80中)以被喷射到燃烧气缸20中。反应性调节器85还被示为可操作以直接作用于燃烧气缸20内的燃料。反应性调节器85可操作以增加燃料点火的能力。这可以包括以下至少一个:使燃料更具反应性,以及提供用于点火燃烧气缸20中的燃料的附加装置。控制器60还可响应于确定燃料的反应性大于过反应性阈值来控制反应性调节器85的运作。这可能有助于减少NO<sub>x</sub>的形成,因为反应过度的燃料可能会产生更高的燃烧峰值温度。

[0050] 在所示的示例中,反应性调节器85包括用于将电磁辐射,例如激光或微波辐射,引导至燃料的系统,以此为燃烧气缸20中的燃料提供额外的点火源。这可以提供更有针对性

的点火机制,因此可以使燃料在较不利的点火条件下点火,例如当燃烧气缸20比点火阈值温度更冷时。控制器60可以被配置为控制反应性调节器85,使得响应于确定燃烧气缸20中的温度和/或工作流体的温度小于点火阈值,控制器60控制反应性调节器85,以提供额外的燃料点火源。反应性调节器85可包括用于选择性能量传递的系统。用于选择性能量传递的系统可以为燃料工作流体混合物中发现的某些化合物提供目标辐射,以提高反应速率。这可以包括用于分解化合物的目标辐射,该目标辐射将产生改善的燃烧,例如分解 $\text{CH}_4$  (甲烷),从而使燃烧可以在较低的起始温度下发生,因此燃烧峰值温度可以在较低的温度下发生,由此反过来可能会抑制 $\text{NO}_x$ 的生成。

[0051] 在一些示例中,反应性调节器85可以包括用于向燃料提供氧化剂或自由基的系统。该提供可以在燃烧气缸20中;它可以在燃料储存器80中(例如,在将燃料喷射到燃烧气缸20中之前)。提供的氧化剂可以使更大比例的燃料点火,它可能会增加最初点火燃料的可能性。例如,合适的氧化剂可包括:氧气或臭氧。尽管可以理解,可以添加任何合适的氧化剂。控制器60被配置为接收工作流体的压强、密度和温度中的至少一个的指示,并基于此来确定工作流体的点火参数。所确定的点火参数可以提供燃料点火能力的指示。例如,点火参数可以提供将要点火的燃料的预期比例的指示。控制器60被配置为基于接收的指示来确定点火参数。例如,这可以包括使用查找表基于工作流体的热力学性质的一个或多个值来识别点火参数的值。这些值可以理论地和/或经验地确定。例如,控制器60可以识别出燃料在冷时不太可能点火,因此,响应于接收到工作流体的温度为冷的指示,可以将点火参数确定为低的值。

[0052] 响应于确定点火参数低于点火阈值,控制器60被配置为操作反应性调节器85。反应性调节器85的运作将有助于增加点火参数的值,并因此有助于燃料点火的可能性。控制器60可以被配置为基于所确定的点火参数来确定反应性调节器85的运作程度。例如,可以基于点火参数与点火阈值之间的差异的大小来确定反应性调节器85的运作程度。可以存在多个点火阈值,并且控制器60可以基于点火参数满足哪个阈值来确定反应性调节器85的运作程度。反应性调节器85尤其在发动机100启动期间可以提供益处,当点火参数可以低于,甚至非常地低于点火阈值时。例如,燃烧气缸20的温度可能非常低,并且反应性调节器85的运作可以使燃料点火,从而使燃烧在低得多的温度下发生。图3示出了用于图1和图2所示的分置循环内燃发动机的运作的示例性温度-熵线。虚线表示不冷却的发动机的循环,实线表示冷却的循环。该图基于使用纯氮循环的发动机近似值。两个循环产生相同数量的热量输出。与没有冷却的循环相比,在添加了冷却剂的循环中,循环的左下角温度和熵值两者都较低。这是由于添加冷却剂导致质量增加和温度降低的结果。因此,相对于没有冷却作用的循环,具有冷却作用的循环中的右上角处于较低的温度和熵。该点代表燃烧峰值温度。因此,可以控制冷却量,使得该燃烧峰值温度低于选定的阈值。这可以抑制 $\text{NO}_x$ 的生成,但是因为可以释放相同量的热量,所以可以避免发动机效率的相关降低。这是因为对于具有冷却的循环和不具有冷却的循环,燃烧气缸中的初始压强和最终压强之间的比率可以相同,并且基于这种比率来确定发动机循环效率。在每个循环中,从左上角到右上角的直线的斜率表示从热能到压强的转换效率。该斜率越平坦,转换效率越高。从图3可以看出,随着斜率变浅,冷却循环可以提高从热能到压强的转换效率。

[0053] 图4示出了图3的分置循环内燃的操作的示例性温度-熵线图,其中添加了恒定压



强的线。恒定压强的线示出了对于两个周期,最终燃烧压强与初始压强之比相同。作为结果,两个循环以相同的发动机效率水平运行。但是,由于“有冷却”循环的温度被控制为低于无冷却循环的温度,因此最高燃烧温度可能会降低。反而,这可以抑制NO<sub>x</sub>和/或颗粒的生成。

[0054] 图5示出了图示用于不同的燃烧开始温度映射到其分别用于正十二烷、甲烷(CH<sub>4</sub>)和异辛烷的燃烧最终温度的示例的图。该图还提供了在起始温度下每种燃料的当量比值的指示。该图还示出了NO<sub>x</sub>的生成通常发生的结束温度的区域;所示线的最终温度约为2200开尔文。通常,对于本文所讨论的燃料,NO<sub>x</sub>产生温度的值保持相同。例如,可以基于发生NO<sub>x</sub>生成的温度的典型值来选择选定的阈值。该曲线图还示出了通常发生燃料的完全燃烧的起始温度区域。如图所示,该区域从大约690开尔文的温度延伸到大约1600开尔文的温度。例如,可以基于发生完全燃烧的范围的较低值选择冷却阈值。这是因为,对于低于较低值的燃烧开始温度,由于燃料不能完全点火和燃烧,因此燃烧效率可能较低。

[0055] 该图表明,以正十二烷为燃料,起始温度范围为690开尔文至820开尔文,可能会发生完全燃烧,而不会进入NO<sub>x</sub>区的最终燃烧温度。该图显示了当量比为0.4到0.48时在温度范围内发生的情况。对于0.5和0.52的当量比,对于该范围内的较低起始温度,最终燃烧温度可能无法达到NO<sub>x</sub>区。但是,对于较高的起始温度,燃烧的最终温度可能会达到NO<sub>x</sub>区。作为一个示例,当量比为0.5且起始温度为大约690开尔文时,燃烧的结束温度为大约2100开尔文且不在NO<sub>x</sub>区中。作为另一个示例,当量比为0.5且起始温度为820开尔文时,燃烧的结束温度为约2220开尔文,并且处于NO<sub>x</sub>区中。这表明对于给定的当量比,通过将起始温度控制在一定范围内,燃烧的最终温度可以避开NO<sub>x</sub>区域,从而可以抑制NO<sub>x</sub>的生成。

[0056] 如图所示,当量比是燃料-空气当量比( $\phi$ )。对于十二烷,当燃料-空气当量比为0.4时,空气-燃料当量比( $\lambda$ )为2。可以基于稀薄度阈值来选择燃料-空气当量比。可以基于燃料-空气当量比来定义稀薄度比。例如,可以基于0.4的燃料-空气当量比来选择稀薄度阈值;它可能是0.42;它可能是0.44;它可能是0.46;它可能是0.48;它可能是0.5。如果燃料和工作流体混合物的稀薄度低于某个值,则可能发生颗粒生成。可以基于特定值来选择稀薄度阈值。微粒的生成可以包括发动机中烟灰的生成。可以控制工作流体和燃料之间的混合物的稀薄度,使得混合物足够稀薄以避免生成微粒。通常,颗粒生成的发生是燃料的“富集区”的结果,其中燃料没有与足够的氧气混合,因此会发生不完全燃烧。还可以控制燃烧以避免生成化合物HC和CO,其存在通常会导致无效燃烧。当量比可以基于局部当量比;它可以基于燃烧气缸的平均当量比;它可以基于两者。在另一方面,图1或图2中的发动机100可以操作,从而控制器60控制跨接通道30内的工作流体的至少一个热力学属性,从而该流入燃烧气缸20的工作流体满足选定的评估标准。特别地,控制器60被配置为控制跨接通道30中的工作流体的压强和密度中的至少之一,使得工作流体以大于速度阈值的速度流入燃烧气缸20中。选择速度阈值,使得流入燃烧气缸20的工作流体能够使燃料与燃烧气缸20中的工作流体稀混合。例如,工作流体可以以一定速度流过进气阀18,从而它生成大量的湍流并导致流体快速流过燃料喷射器82。在将燃料喷射到燃烧气缸20中时,由于工作流体的流动速度,燃料可以被适当地分散。这可以减少在比其环境更高的温度下燃烧的“燃料包”的数量,因此可以减少NO<sub>x</sub>和/或烟灰量的形成。这也可以确保燃料被完全反应,不留下热解产物,并且使得可以消耗更大比例的燃料以产生有用的输出。



[0057] 在运作中,控制器60被配置为接收跨接通道30中的工作流体的压强和密度中的至少一个的指示。可以从跨接传感器31接收指示,跨接传感器31可以被配置为测量合适的热力学参数,从该热力学参数可以确定压强和/或密度。控制器60可以使用查找表或数学模型来确定压强和/或密度,该查找表或数学模型提供了所测量的参数与压强和/或密度的对应值之间的映射。控制器60被配置为将该确定值与输入阈值进行比较。输入阈值可以是跨接通道中的所测量的参数的值,该值预期会产生以大于或等于速度阈值的速度流入燃烧气缸的工作流体。控制器60被配置为基于该比较来控制工作流体的压强和/或密度。控制工作流体的压强和/或密度,使得流体以大于速度阈值的速度流入燃烧气缸20。

[0058] 速度阈值选择为一个导致流体流入、并在燃烧气缸20的湍流流动的速度,以提供燃料和工作流体的稀混合。可以基于跨接通道30中的工作流体的压强和/或密度,以及燃烧气缸20和进气阀18的尺寸来确定速度阈值的值,这可以用于对流入燃烧气缸20的流体建模。因此,选择速度阈值,使得工作流体以该速度阈值流入燃烧气缸20,导致燃料稀混合。选择燃料的稀薄混合,使得发生完全燃烧并抑制微粒的产生。可选地,可以选择稀薄度,使得并非所有燃料都一次点火,而是在燃烧冲程的持续时间内错开燃料点火,因为这可以提供发动机100的更一致的功输出。例如,速度阈值可以大于每秒350米;它可能是345m/s;它可能是343m/s;它可能是340m/s;它可能是335m/s;它可能是330m/s;它可能是325m/s;它可能是320m/s;它可能是310m/s;它可能是300m/s。然而,应当理解,该值取决于发动机的不同参数,因此可以相当地更高或更低。例如,压强或密度可能会影响速度阈值的值。通常,在这些速度下,进入燃烧气缸20的流体流将是阻塞的流,这是由于音障的破裂而干扰了进入燃烧气缸20的工作流体的流所致。

[0059] 基于速度阈值和/或燃烧气缸20内的选定的湍流水平来选择输入阈值。例如,可以基于经验数据和/或数学模型来选择输入阈值,其提供了对燃烧气缸20内的相关湍流水平的指示。可以选择输入阈值,使得具有在输入阈值时的压强和/或密度的工作流体将以速度阈值流入燃烧气缸20中。响应于确定工作流体的压强和/或密度大于输入阈值,控制器60被配置为控制工作流体的压强和/或密度。控制器60可以使用冷却剂系统控制工作流体的压强和/或密度。响应于确定压强和/或密度低于输入阈值,控制器60被配置为控制冷却剂系统的运作。这可以降低工作流体的温度,这可以使跨接通道30中的压强和/或密度更高。例如,在973K和7MPa的发动机100中,将温度降低到700K将使密度增加40%。可以基于工作流体的压强和/或密度与输入阈值之间的值之差的程度来确定冷却剂系统的运作程度。在图1和图2的示例中,冷却剂系统包括冷却剂喷射器14,该冷却剂喷射器14用于将冷却剂喷射到发动机100的压缩气缸10中。该冷却剂系统的运作可以包括增加喷射压缩气缸10中的冷却剂的体积。控制器60还可基于确定的流体压强和/或密度来控制喷射的冷却剂的体积。跨接通道30中增加的压强将在跨接通道30和燃烧气缸20之间产生增大的压差,因此响应于燃烧气缸20的进气阀18进入打开状态,工作流体的流动进入燃烧气缸20的速度将更大。增加的密度将增加燃烧气缸20中载氧气体的密度。密度增加的另一个结果是,燃烧气缸20中的工作流体的初始温度较低,因此降低了NO<sub>x</sub>生成的可能性。这种增加的密度提供了增加的气体质量,这导致燃烧时压强增加并且温度升高较少。因此,这也降低了燃烧峰值温度,以此抑制了NO<sub>x</sub>的产生。

[0060] 在另一方面,分置循环内燃发动机100可以基于选定的阀门定时来运作。阀门定时

包括与在活塞的循环期间在进气阀18从关闭运动到开启状态的第一位置,以及在活塞的循环期间在进气阀18从开启运动到关闭状态的第二位置相关联的时间。第一和第二位置可以是固定的,使得进气阀18在不受控制器60控制的选定位置处移动。因此,控制器60可以基于选定的位置来确定输入阈值。这包括基于发动机100在每个位置处的条件来确定输入阈值的值,使得跨接通道30中处于输入阈值的工作流体在进气阀18已经在第一位置运动到打开状态之后可以以大于速度阈值的速度流入燃烧气缸20。

[0061] 在另一方面,分置循环内燃发动机100可以基于用于燃烧气缸20的进气阀18的运动的控制而运行。进气阀18可以从关闭状态到打开状态。到打开状态的运动包括阀的运动,使得在跨接通道中的工作流体具有横截面区域,使得流体流过并进入燃烧气缸20。进气阀18可配置为在关闭状态和多个打开状态之间移动。多个打开状态可以包括一系列离散状态,在其中限定了不同的横截面区域;它可以包括横截面区域连续不同的状态的连续体。控制器60被配置为控制进气阀18的运动,从而限定选定的横截面区域,使得工作流体流过并进入燃烧气缸20。

[0062] 控制器60被配置为控制进气阀的运动,从而限定选定的横截面区域。控制器被配置为选择选定的横截面区域,使得跨接通道30中的工作流体以大于速度阈值的速度流过横截面区域并流入燃烧气缸20。控制器60可以基于接收到的发动机参数的指示来确定选定的横截面区域。例如,控制器60可以被配置为使用数学模型(例如,基于伯努利流动)来确定进入燃烧气缸20的流体的速度的估值。控制器60可基于例如数学模型或查找表来确定横截面区域需要被限制至选定的横截面区域,使得工作流体以低于速度阈值的速度流入燃烧气缸20。因此,控制器60可以控制进气阀18运动到打开状态,其中,运动到打开的状态包括打开阀,但是不必将阀打开到其全开的状态。而是,阀可以被打开到其全开状态的一部分,例如,进气阀可以被运动到半开状态。进气阀18运动的程度可基于接收的跨接通道30中的压强指示。例如,在跨接通道30中的压强非常高的情况下,控制器60可以控制进气阀18打开至其完全打开状态,因为即使具有更大的横截面区域,工作流体也可以以大于速度阈值的速度流入燃烧气缸20。在另一个示例中,控制器60可以确定跨接通道30中的压强不是很高,并且因此可以控制进气阀18打开到仅仅打开的状态,在该状态下,限定的横截面区域非常小,因此导致工作流体更快地流入燃烧气缸20。

[0063] 控制器60被配置为控制阀门升程,使得工作流体以大于速度阈值的速度流入燃烧气缸。工作流体流入燃烧气缸的速度可以确定为峰值流速,其通常将在进气阀18打开时或不久之后发生。可以基于来自排气传感器的测量来确定该速度。例如,如果排气传感器确定NO<sub>x</sub>和/或颗粒物的生成高于阈值水平,则流速太低。通过控制进气阀18的运动,使得进入燃烧气缸20的工作流体的流动速度大于速度阈值,燃烧气缸中的空气和燃料的混合可以供应大于稀薄度阈值的稀薄度比率。当燃料和工作流体充分混合以致于每个燃料单元被供应有足够的氧气以发生完全燃烧并因此抑制微粒生成时,由此稀薄度阈值可以抑制微粒的生成。将流动速度控制为大于速度阈值还可以减小燃料喷射器82上的应力,因为在燃料和工作流体的混合方面对燃料喷射器82提出了更少的要求,这可以延长喷射器寿命。另外,运行进气阀18以低升程打开的操作可以减少进气阀18从其关闭状态移动到你打开状态所花费的时间,这是因为其移动的距离较小。这可以加速将工作流体从跨接通道30进入燃烧气缸20的过程。结果,入口阀18可以在活塞的循环期间较晚打开。控制器60可以基于进气阀18的

设计相关联的数据来确定进气阀18的运动。例如,可以考虑阀的尺寸,例如其形状或表面摩擦水平。应当理解,从跨接通道30进入燃烧气缸20的流体流动路径的细节(例如形状,长度,直径等)可能影响流动速度。当确定由进气阀18限定的用于流体流动的截面积时,控制器60可以访问专用于其入口阀18的查找表。

[0064] 在另一方面,分置循环内燃发动机100可以基于可变的阀门定时来运作。这可以包括控制器60基于用于工作流体的压强和/或密度的确定值来选择第一和第二位置,使得工作流体在入口阀18在选定的第一位置已经移至打开状态之后以大于速度阈值的速度流入燃烧气缸20中。

[0065] 现在将结合图6描述一种分置循环内燃发动机的操作方法,例如图1和2的分置循环内燃发动机100。在步骤600,该方法开始并进行到步骤610,在步骤610,接收峰值温度的指示。如上所述,该指示可以从一个或多个传感器接收,并且可以提供关于发动机的参数的信息。在步骤620,基于在步骤610接收的指示,确定燃烧气缸200中的燃烧峰值温度。可以如上所述确定峰值温度。在步骤630,将确定的峰值温度与选定的阈值进行比较。响应于确定峰值温度小于选定的阈值,该方法前进至步骤640,在该步骤中将峰值温度与冷却阈值进行比较。在步骤640,如果确定的峰值温度大于冷却阈值,则确定发动机的峰值温度在合适的范围内。然后,该方法循环回到起点,在此接收到另一个峰值温度指示。循环可以在可变的时间尺度上发生,例如可以在选定的时间段接收指示;在发动机启动期间,可能会更频繁地接收到指示,其中发动机参数的值将变化更大。响应于在步骤630处确定所确定的峰值温度大于选定的阈值,或在步骤640处确定其小于冷却阈值,该方法前进至步骤650。在步骤650,基于确定的峰值温度,控制冷却剂系统以调节工作流体的温度。为了使燃烧峰值温度在适当的范围内,可以调节温度。然后该方法循环回到步骤610。响应于来自步骤650而不是步骤640的循环,接收指示的频率可以更高。

[0066] 现在将结合图7描述一种分置循环内燃发动机的操作方法,例如图1和2的分置循环内燃发动机100。

[0067] 该方法的步骤700至740分别对应于上述图6的步骤600至640,因此不再赘述。在步骤750,响应于所确定的峰值温度大于选定的阈值,或者所确定的峰值温度小于冷却阈值,选择对应进气阀的开和关的第一和第二位置以调节工作流体的温度。为了将燃烧峰值温度移动到合适的范围内(例如,在冷却阈值和选定的阈值之间),可以调节工作流体的温度。

[0068] 现在将结合图8描述一种分置循环内燃发动机的操作方法,例如图1和2的分置循环内燃发动机100。

[0069] 在步骤800,该方法开始并进行到步骤810,其中接收发动机参数的指示。在步骤820,基于在步骤810接收的指示来确定燃料的点火参数。可以如上所述确定点火参数。在步骤830,将点火参数与点火阈值进行比较。响应于确定点火参数小于选定的阈值,该方法前进至步骤840,在该步骤中将点火参数与过反应阈值进行比较。响应于点火参数小于过反应阈值,点火参数被认为在合适的范围内,并且该方法循环回到步骤810;该循环可以如上所述。响应于点火参数小于点火阈值或大于过反应阈值,该方法前进到步骤850,在步骤850中,操作反应性调节器,例如以调节工作流体,使得反应性在发动机运作的合适的范围内。

[0070] 现在将结合图9描述一种分置循环内燃发动机的操作方法,例如图1和2的分置循环内燃发动机100。

[0071] 该方法的步骤900至940分别对应于上述图6的步骤600至640,因此不再赘述。在步骤950,响应于所确定的峰值温度大于选定的阈值,或所确定的峰值温度小于冷却阈值,选择喷射器的喷射位置。如上所述,选择喷射位置以调节工作流体的温度。

[0072] 现在将结合图10描述一种分置循环内燃发动机的操作方法,例如图1和2的分置循环内燃发动机100。在步骤1000,该方法开始并进行到步骤1010,其中接收峰值温度的指示。如上所述,可以基于在步骤1010处接收到的指示来确定燃烧峰值温度的估值。在步骤1030,控制冷却剂系统,使得燃烧峰值温度在选定范围内。该步骤可以包括基于燃烧峰值温度相对于选定的范围是低还是高,来增加和/或减少工作流体的冷却。

[0073] 现在将结合图11描述一种分置循环内燃发动机的操作方法,例如图1和2的分置循环内燃发动机100。在步骤1100,该方法开始并进行到步骤1110,其中接收发动机参数的指示。在步骤1120,基于发动机参数的该指示,可以确定发动机参数的值(在图11的示例中,压强和/或温度)。该确定将取决于指示中包括的内容。它可以包括使用热力学关系来处理一个发动机参数的值以确定另一个发动机参数的值(压强或温度)。在步骤1130,将所确定的参数(压强和/或温度)与输入阈值进行比较。响应于该参数大于输入阈值,该工作流体被认为适合在燃烧气缸中使用,并且该方法循环回到1110。响应于该参数不大于输入阈值,该方法前进到步骤1140,在步骤1140中,控制工作流体的参数(压强/温度)使得其可以在合适的范围内供工作流体以大于速度阈值的速度流入燃烧气缸20。然后该方法循环回到步骤1110。

[0074] 现在将结合图12描述一种分置循环内燃发动机的操作方法,例如图1和2的分置循环内燃发动机100。该方法的步骤1200至1230分别对应于上述图11的步骤1100至1130,因此不再赘述。在步骤1240,控制进气阀的运动以限定进气阀开口的横截面区域,工作流体通过该横截面区域从跨接通道30流到燃烧气缸20中。选择的横截面区域,如上所述,使得工作流体以大于速度阈值的速度流入燃烧气缸20。

[0075] 应当理解,尽管描述已经针对NO<sub>x</sub>,但是术语NO<sub>x</sub>可以被认为涵盖任何合适的氮氧化物化合物,例如N<sub>2</sub>O或氮和氧的任何其他组合。它不应被解释为直接限于含有单个氮原子的化合物。

[0076] 应当理解,活塞的循环是周期性且重复的,因此,提到的在活塞的循环中较晚的发生可以指在稍后的时间发生。活塞的每个循环可以被认为是以燃烧活塞22在其下止点(“BDC”)位置处开始。在活塞的循环期间,燃烧活塞22在返回回到其BDC位置之前然后继续从其BDC位置移动至其上止点(TDC)位置。因此,例如喷射器在活塞的循环期间在较早/较晚的位置处喷射燃料,或者进气阀在活塞的循环期间在较早/较晚的位置处打开或关闭的讨论,是基于活塞从BDC移动到BDC的循环的。

[0077] 总体上参考附图,可以理解的是,示意性功能框图用于指示本文所述的系统和装置的功能。然而,将认识到,功能性不必以这种方式划分,并且不应被理解为暗示除以下描述和要求保护的硬件之外的任何特定硬件结构。附图中所示的一个或多个要件的功能可以进一步细分和/或分布在本公开的整个装置中。在一些实施例中,附图中示出的一个或多个要件的功能可以被集成到单个功能要件中。

[0078] 在一些示例中,一个或多个存储要件可以存储用于实现本文描述的运作的数据和/或程序指令。本公开的实施例提供了包括程序指令的有形的非暂时性存储介质,所述程

序指令可操作以对处理器进行编程以执行本文描述和/或要求保护的方法中的任何一个或多个和/或提供本文描述和/或要求保护的数据处理装置。本文概述的活动和装置可以用诸如逻辑门的组件之类的固定逻辑或诸如由处理器执行的软件和/或计算机程序指令之类的可编程逻辑来实现。其他种类的可编程逻辑包括可编程处理器,可编程数字逻辑(例如,现场可编程门阵列(FPGA),可擦可编程只读存储器(EPROM),电可擦可编程只读存储器(EEPROM)),专用集成电路,ASIC或任何其他种类的数字逻辑,软件,代码,电子指令,闪存,光盘,CD-ROM,DVD ROM,磁卡或光卡,其他类型的适用于存储电子指令的机器可读介质,或其任何合适的组合。

[0079] 从上面的讨论中将理解,附图中所示的实施例仅是示例性的,并且包括可以如本文所述和权利要求中所述一般化,去除或替换的特征。在本公开的上下文中,本文描述的装置和方法的其他示例和变型对于本领域技术人员将是显而易见的。

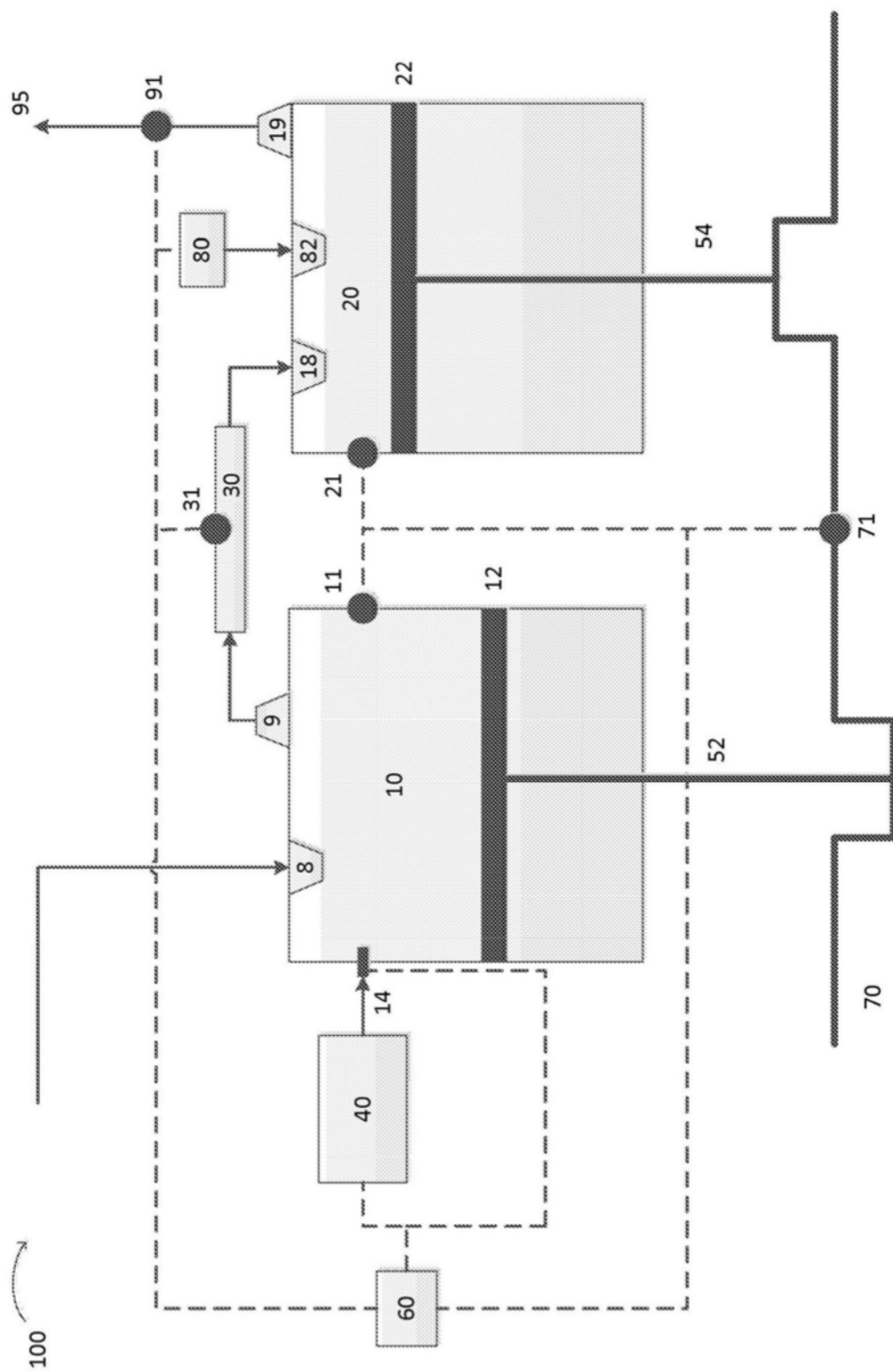


图1

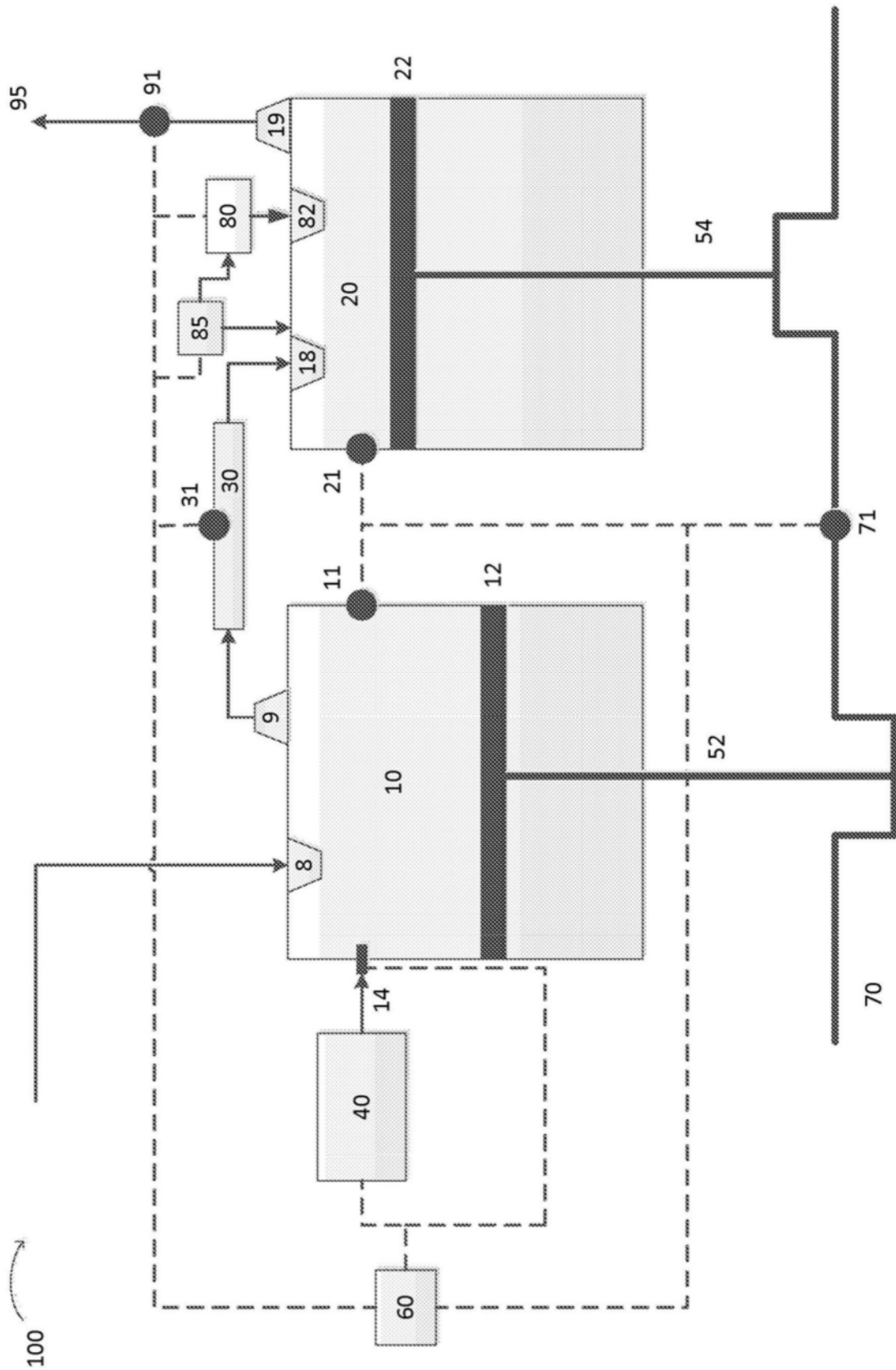


图2

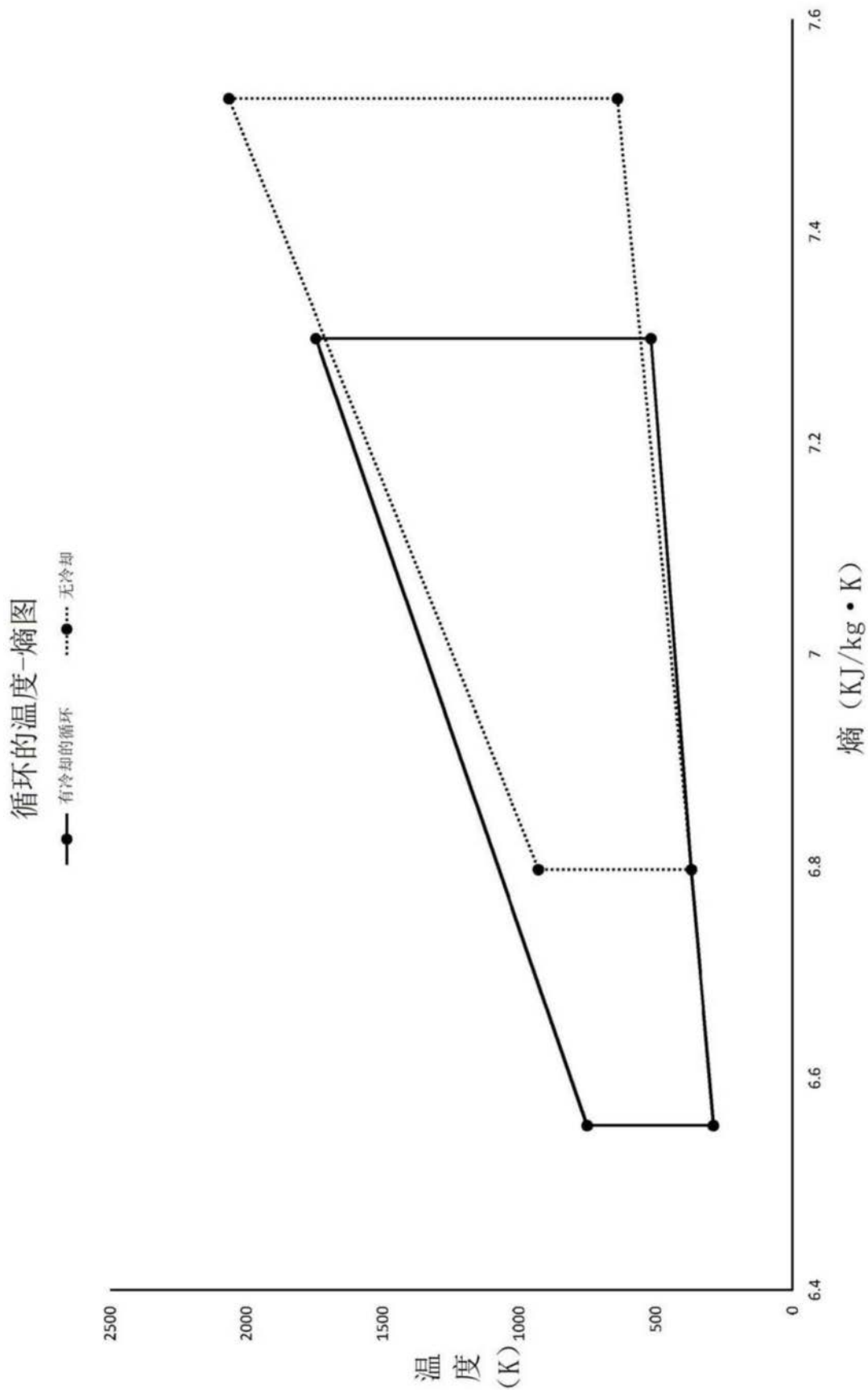


图3



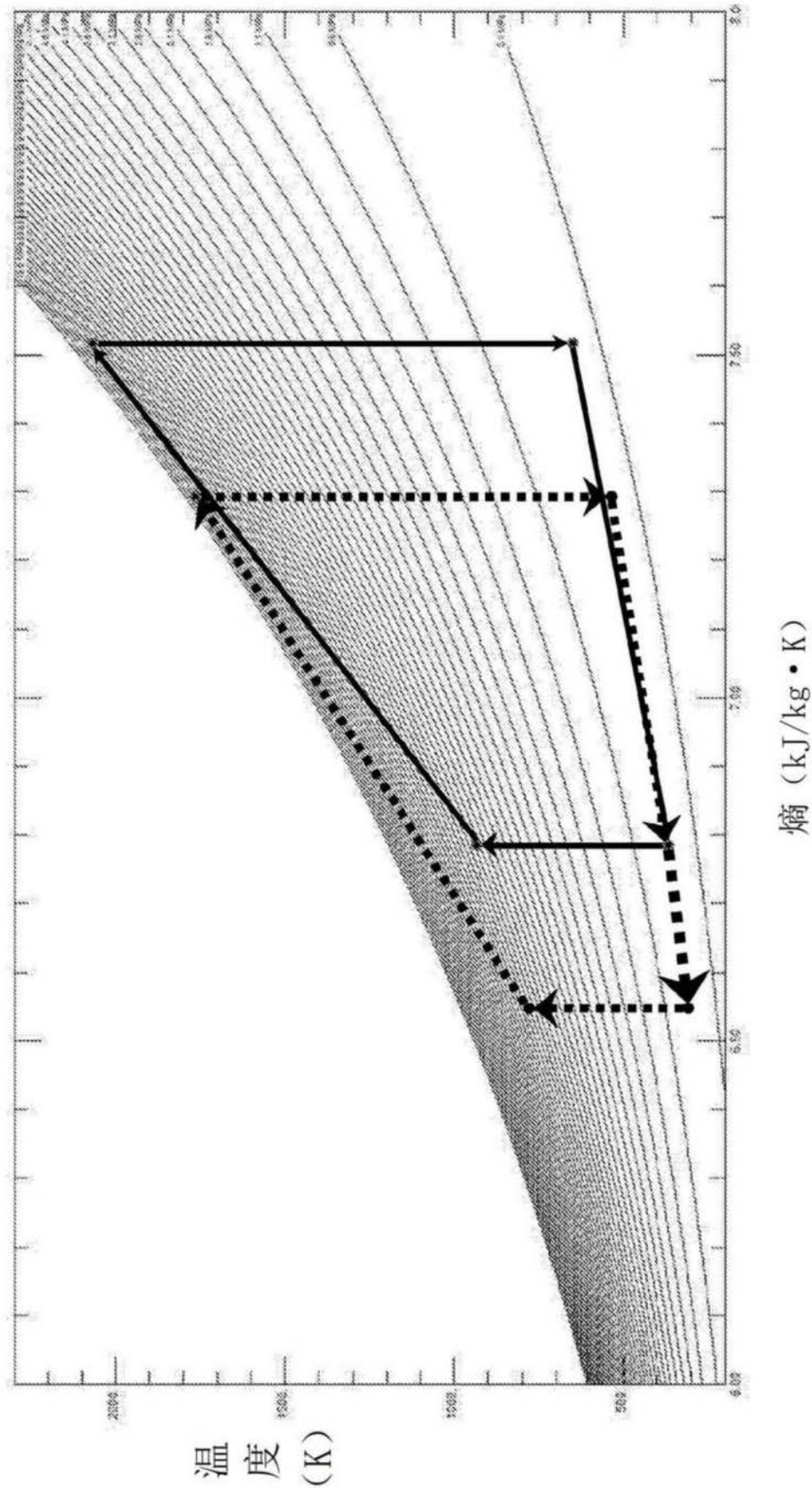


图4

图表：正十二烷对甲烷对异辛烷

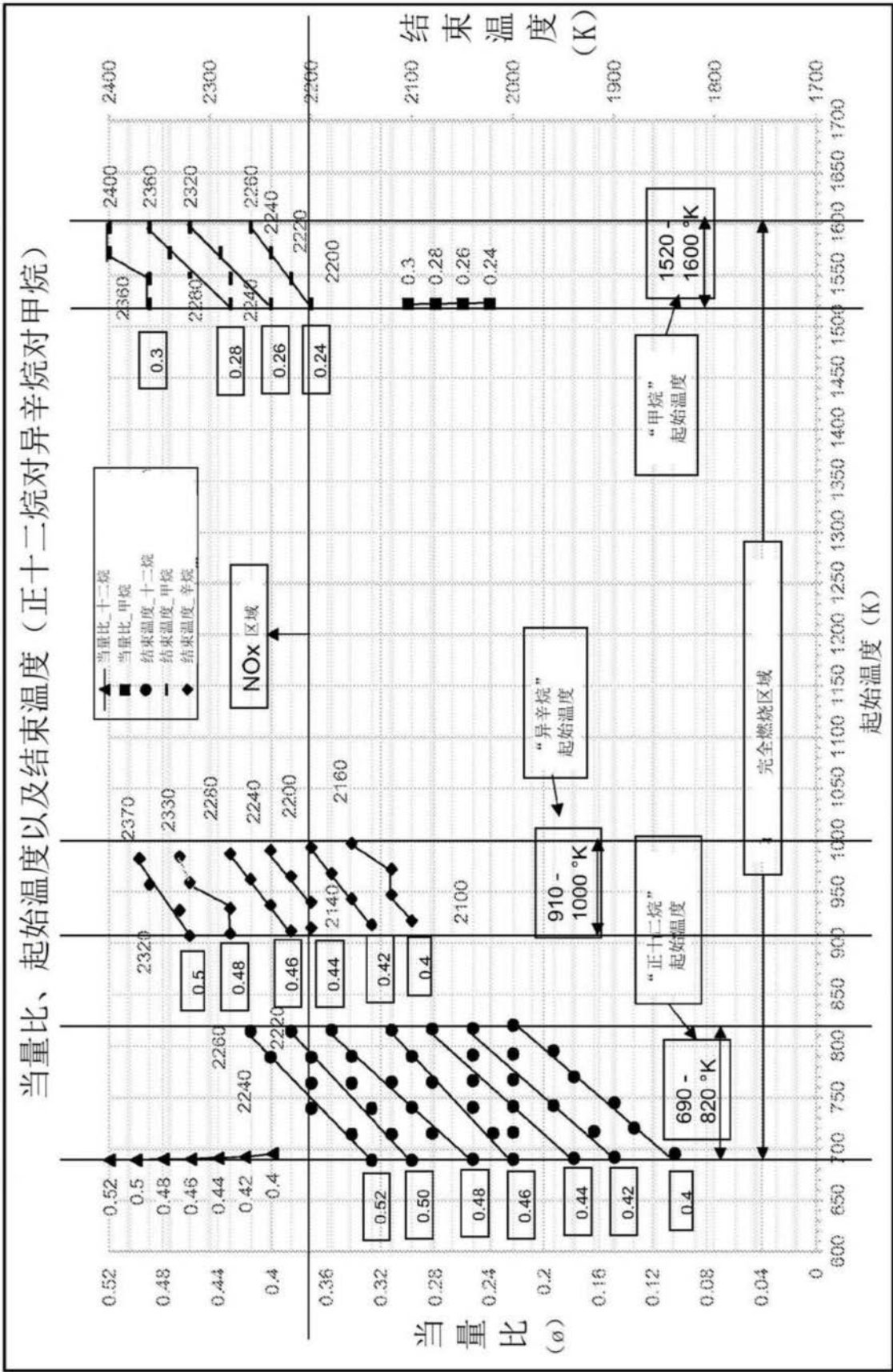


图5

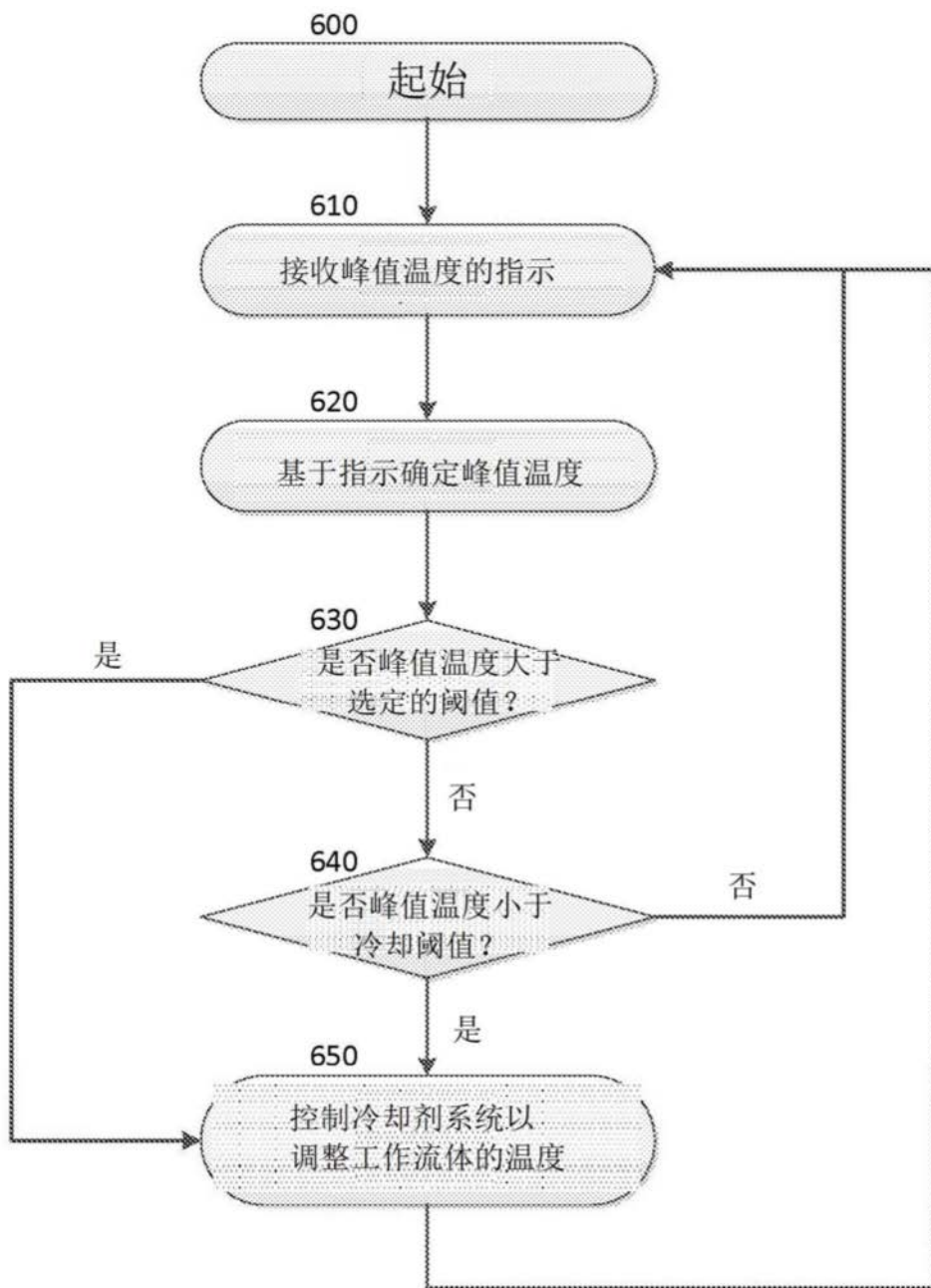


图6

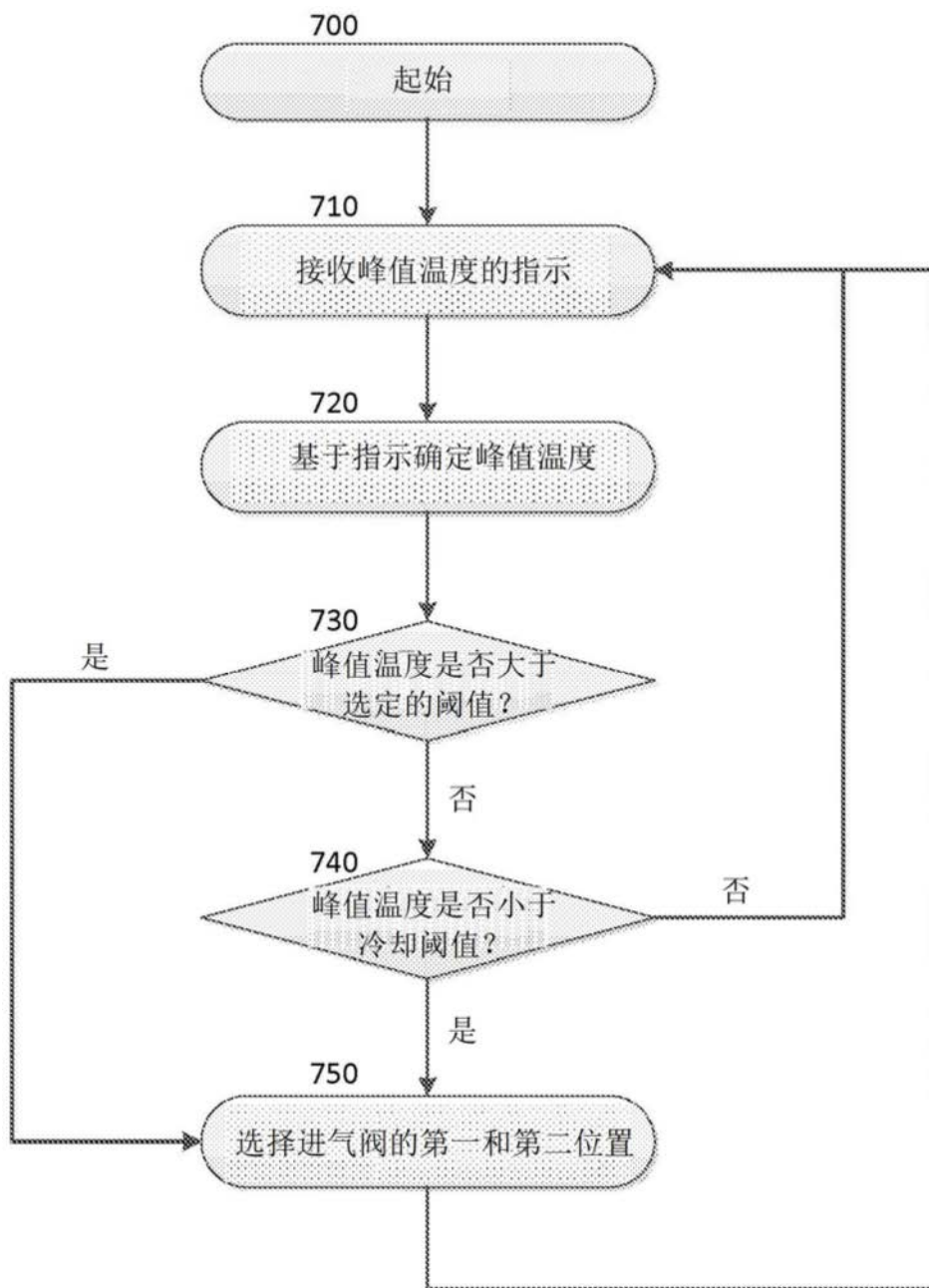


图7



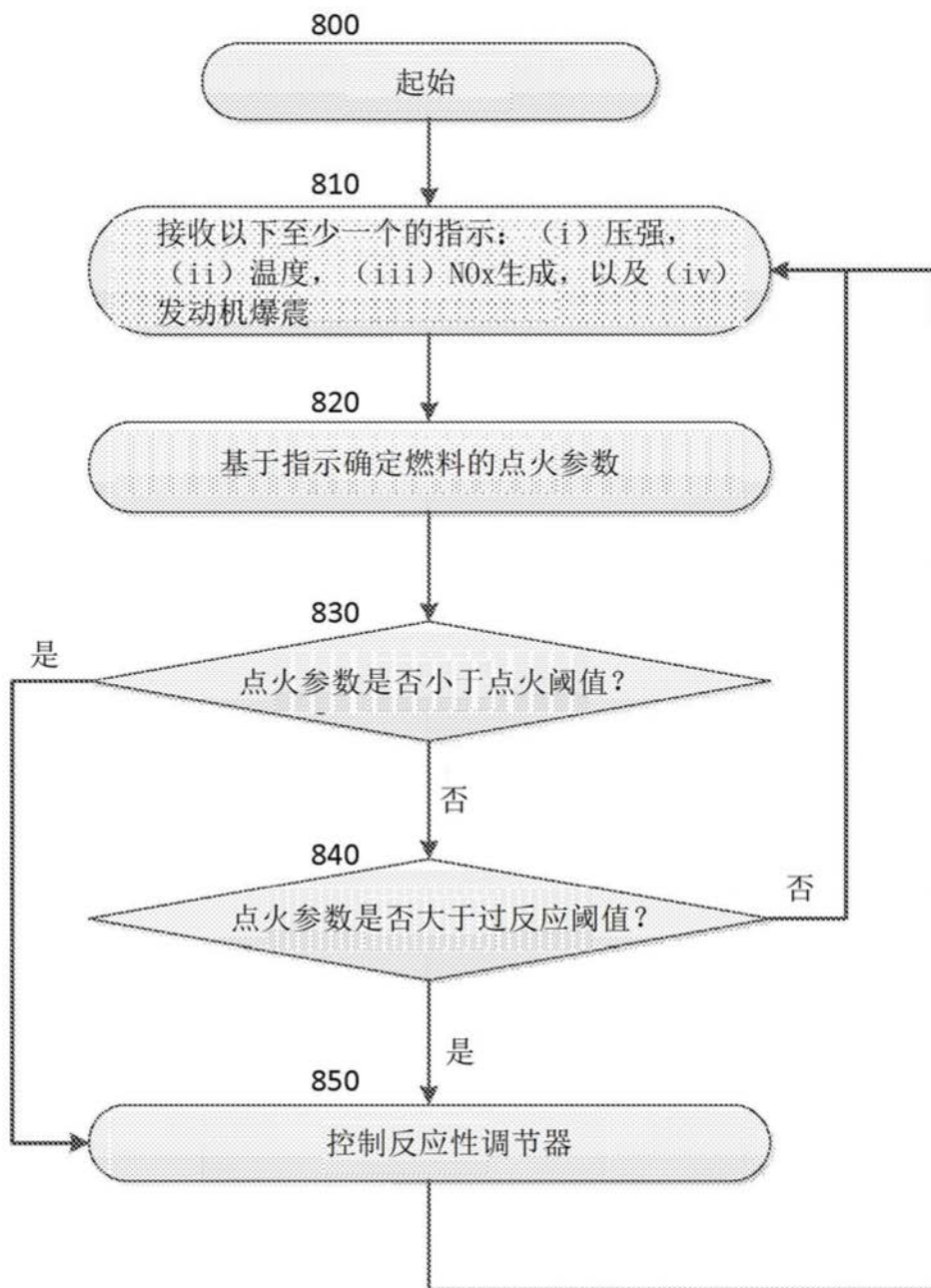


图8

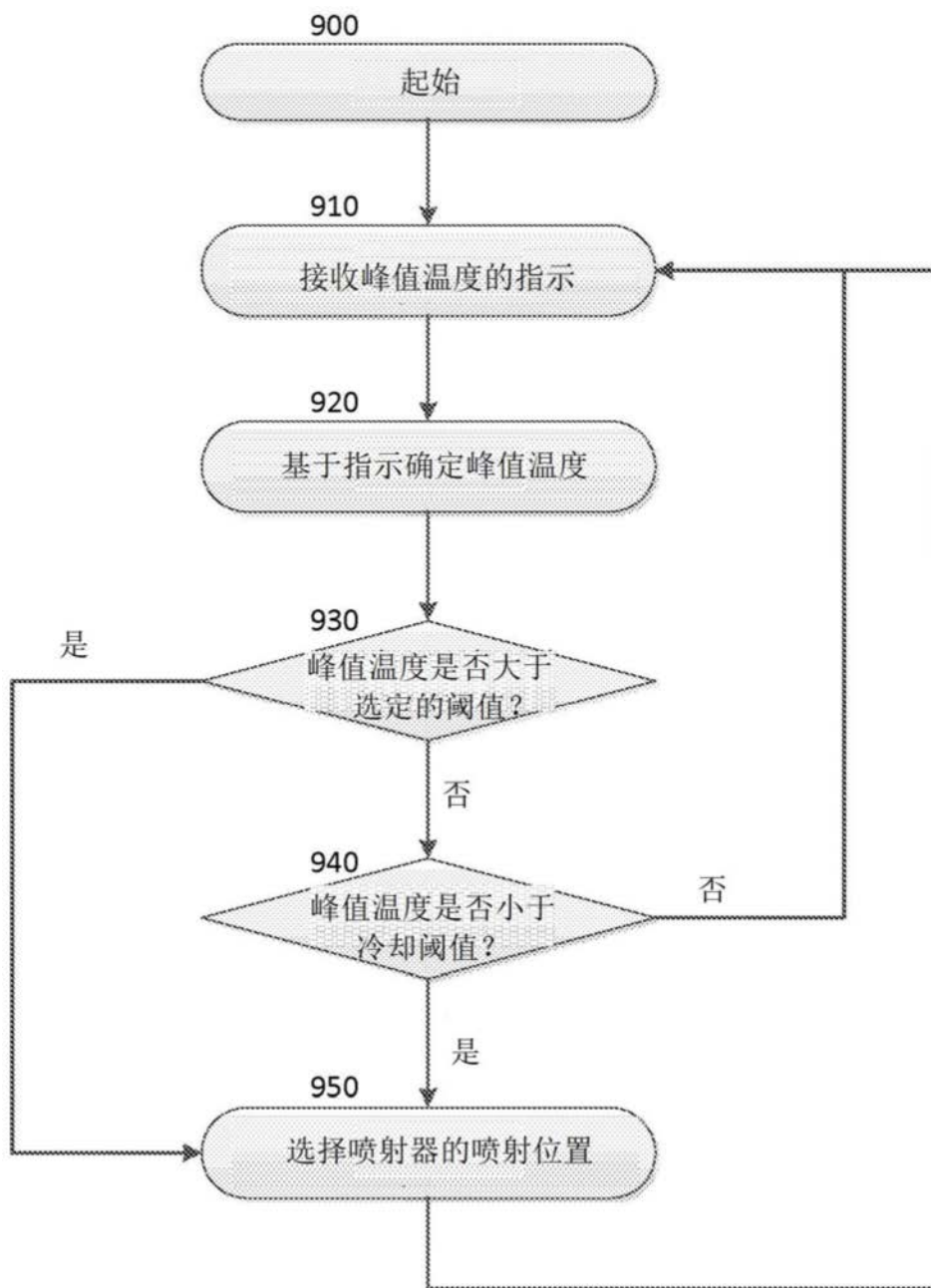


图9

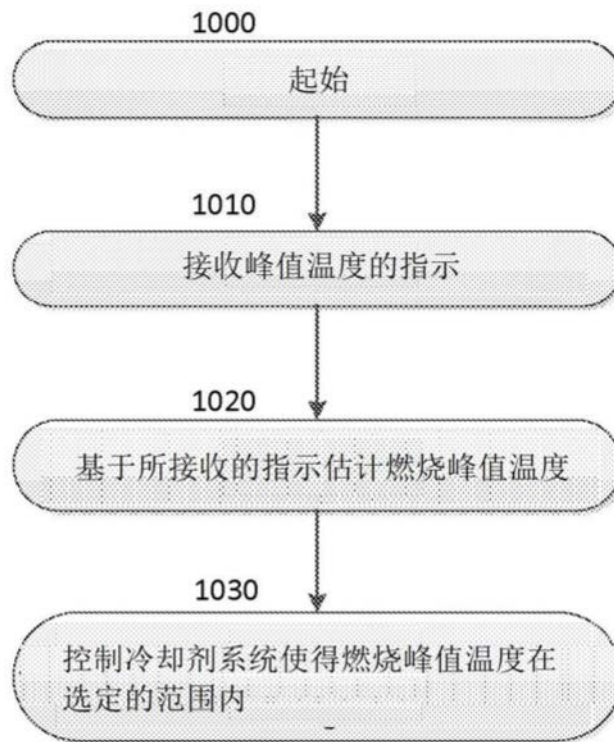


图10

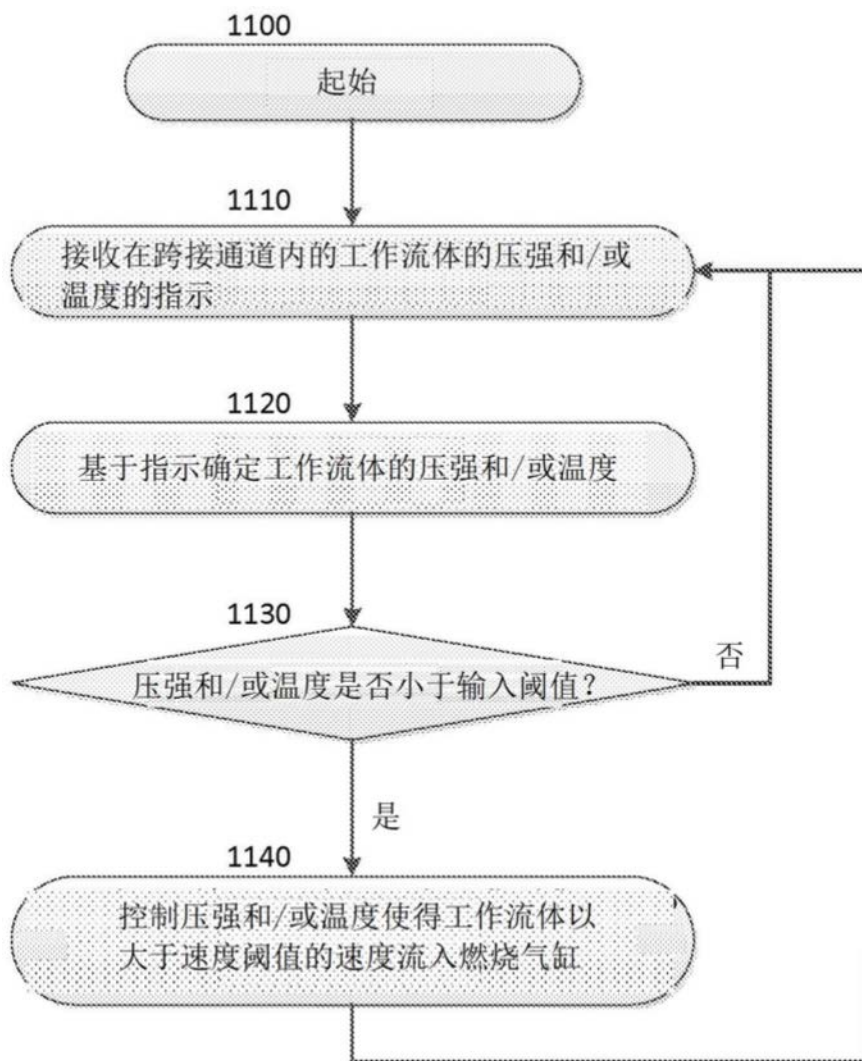


图11



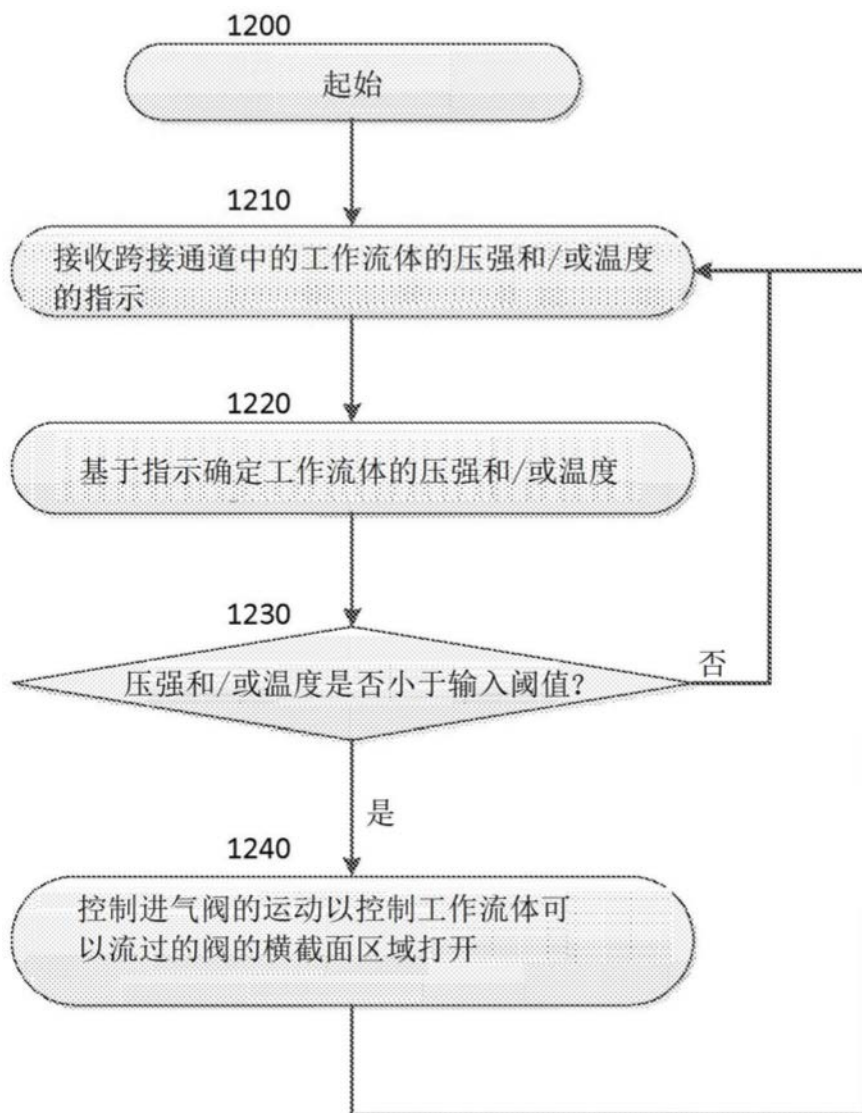


图12