



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115013085 A

(43) 申请公布日 2022. 09. 06

(21) 申请号 202210519121.1

(51) Int.Cl.

(22) 申请日 2018.09.21

F01D 21/00 (2006.01)

(30) 优先权数据

F01D 21/10 (2006.01)

62/562050 2017.09.22 US

F01D 25/00 (2006.01)

16/045049 2018.07.25 US

(62) 分案原申请数据

201811108693.0 2018.09.21

(71) 申请人 通用电气公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 L.埃斯克里彻 C.L.艾伯纳西

D.J.马佳德

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公

司 72001

专利代理师 李强 杨忠

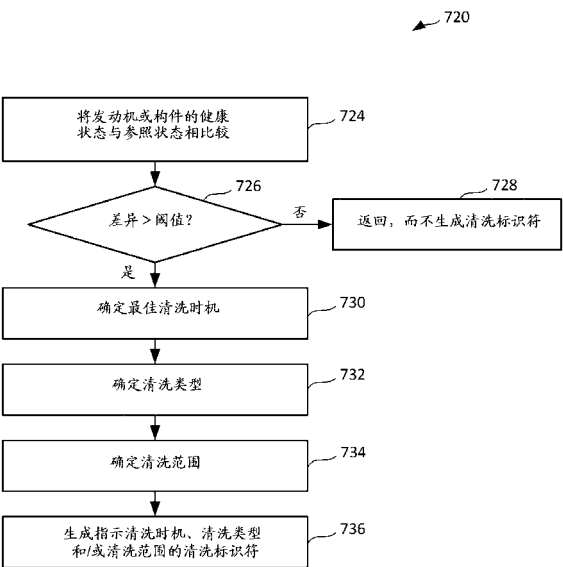
权利要求书1页 说明书22页 附图14页

(54) 发明名称

污染累积模型

(57) 摘要

提供了一种清洗优化系统及相关方法,其提高发动机清洗的效率和有效性。包括至少一个处理器的系统接收代表涡轮发动机的一个或多个测量的参数的传感器数据,且基于传感器数据确定至少一个性能参数。该至少一个性能参数代表与涡轮发动机相关联的一个或多个颗粒值。系统基于该至少一个性能参数生成用于涡轮发动机的健康状态,且基于涡轮发动机的健康状态生成清洗标识符。



1. 一种方法,包括:
 - 由包括至少一个处理器的系统生成发动机或发动机构件的健康状态;
 - 由所述系统确定所述发动机或发动机构件的健康状态与对应于所述发动机或发动机构件的参照状态之间的差异;
 - 由所述系统确定所述健康状态和所述参照状态之间的所述差异超过阈值差异;和
 - 由所述系统生成清洗标识符。
2. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述发动机或发动机构件的健康状态包括以下至少一项:所述发动机的累积健康状况,以及所述发动机或发动机构件的单独性能参数值。
3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述参照状态包括指示一个或多个发动机参数的预期状况或性能的传感器数据。
4. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,由所述系统生成所述清洗标识符包括由所述系统确定以下中的至少一项:清洗时机、清洗类型和清洗范围。
5. 根据权利要求4所述的方法,其特征在于,所述清洗时机包括在其期间执行发动机清洗的定时或间隔;其中清洗类型包括以下中的至少一项:清洁介质、清洗持续时间、清洗输送方法和清洗输送系统;或者其中,所述清洗范围包括以下中的至少一项:要清洗的发动机的一个或多个部分或构件,以及要启动的一个或多个清洗线。
6. 根据权利要求1所述的方法,包括:
 - 至少部分地基于一个或多个颗粒值和预测所述发动机内的颗粒累积的污染累积模型来生成所述发动机或发动机构件的健康状态。
7. 根据权利要求6所述的方法,包括:
 - 接收环境数据并使用污染累积模型中的环境数据来预测发动机内的颗粒累积。
8. 根据权利要求1所述的方法,包括:
 - 由所述系统至少部分地基于所述健康状态确定多种发动机清洗类型的预期有效性;和
 - 至少部分地基于所述多个发动机清洗类型的预期有效性生成所述清洗标识符,其中所述清洗标识符包括从所述多个发动机清洗类型中选择的清洗类型。
9. 根据权利要求8所述的方法,其中从所述多种发动机清洗类型中选择的所述清洗类型具有最高预期有效性。
10. 根据权利要求9所述的方法,其中,所述最高预期有效性包括以下中的至少一项:当前最高额定有效性,以及在未来的特定时间的最高计划有效性水平。

污染累积模型

[0001] 本申请是申请日为2018年9月21日(优先权日为2017年9月22)、名称为“污染累积模型”的中国发明专利申请No. 201811108693.0的分案申请。

[0002] 优先权声明

本申请请求享有2017年9月22日提交的题为“CONTAMINATION ACCUMULATION MODELING”的美国临时专利申请第62/562050号的优先权权益,该申请通过引用并入本文中以用于所有目的。

技术领域

[0003] 本公开内容大体上涉及喷气发动机维护。

背景技术

[0004] 航空运载器可依靠一个或多个喷气发动机来控制航空运载器。发动机性能可能受到发动机的清洁度影响。定期清洗发动机可改善发动机的性能,且延长发动机的寿命。然而,不同类型的发动机清洗可具有不同成本和不同的有效性水平。确定适合的发动机清洗可能很难。

发明内容

[0005] 公开技术的方面和优点将在以下描述中部分地提出,或可从描述中清楚,或可通过实践本发明学习到。

[0006] 根据公开技术的示例性方面,提供了一种方法,其包括:由包括至少一个处理器的系统接收代表涡轮发动机的一个或多个测量的发动机参数的传感器数据;由系统基于传感器数据确定至少一个性能参数,该至少一个性能参数代表与涡轮发动机相关联的一个或多个颗粒值;由系统使用该一个或多个颗粒值生成与涡轮发动机相关联的健康状态;以及由系统基于涡轮发动机的健康状态生成清洗标识符。

[0007] 根据公开技术的示例性方面,提供了一种计算装置,其包括:包括处理器可读代码的一个或多个存储装置;以及与该一个或多个存储装置通信的一个或多个处理器;该一个或多个处理器运行处理器可读代码,以:接收基于至少一个清洗事件之前的发动机传感器数据的一个或多个性能参数的第一组,以及基于该至少一个清洗事件之后的发动机传感器数据的一个或多个性能参数的第二组,第一组和第二组性能参数代表与涡轮发动机相关联的一个或多个颗粒值;基于第一组性能参数与第二组性能参数之间的差异确定恢复参数;基于恢复参数生成污染累积模型;以及基于污染累积模型生成清洗标识符。

[0008] 根据公开技术的示例性方面,提供了一种存储计算机指令的非暂时性计算机可读介质,计算机指令在由一个或多个处理器运行时,引起该一个或多个处理器执行以下步骤:由包括至少一个处理器的系统接收代表涡轮发动机的一个或多个测量的发动机参数的传感器数据;由系统基于传感器数据确定一个或多个颗粒值;由系统使用一个或多个颗粒值确定与涡轮发动机相关联的健康状态;由系统确定健康状态满足阈值;以及由系统响应于

确定健康状态满足阈值而生成清洗建议输出。

[0009] 公开技术的这些及其它特征、方面和优点将参照以下描述和所附权利要求变得更好理解。并入且构成本说明书的一部分的附图示出了公开技术的实施例，且连同描述用于阐释公开技术的原理。

[0010] 技术方案1. 一种方法，包括：

由包括至少一个处理器的系统接收代表涡轮发动机的一个或多个测量的发动机参数的传感器数据；

由所述系统基于所述传感器数据确定至少一个性能参数，所述至少一个性能参数代表与所述涡轮发动机相关联的一个或多个颗粒值；

由所述系统使用所述一个或多个颗粒值生成与所述涡轮发动机相关联的健康状态；以及

由所述系统基于所述涡轮发动机的健康状态生成清洗标识符。

[0011] 技术方案2. 根据技术方案1所述的方法，其中，所述系统是第二系统，所述方法还包括：

将包括所述清洗标识符的信号传送至包括至少一个处理器的第二系统。

[0012] 技术方案3. 根据技术方案1所述的方法，还包括：

基于所述涡轮发动机的健康状态确定已经满足阈值清洗标准；

其中生成所述清洗标识符包括响应于确定已满足所述阈值清洗标准而生成所述清洗标识符。

[0013] 技术方案4. 根据技术方案1所述的方法，其中，确定至少一个性能参数包括：

评估所述涡轮发动机的涡轮或压缩机中的至少一个中的污染物水平。

[0014] 技术方案5. 根据技术方案3所述的方法，其中，评估污染物水平包括：

确定阻挡所述涡轮发动机的冷却通路的颗粒量或引起影响冷却有效性的热层的颗粒量中的至少一者。

[0015] 技术方案6. 根据技术方案4所述的方法，其中，所述颗粒包括灰尘、沙、沾污、盐、烟雾、灰和硫酸盐中的至少一者。

[0016] 技术方案7. 根据技术方案1所述的方法，还包括：

基于所述传感器数据生成至少一个模型，所述至少一个模型提供随测量的发动机参数变化的颗粒值。

[0017] 技术方案8. 根据技术方案1所述的方法，还包括：

基于所述一个或多个颗粒值来计划与一个或多个清洗类型相关联的恢复量。

[0018] 技术方案9. 根据技术方案1所述的方法，还包括：

基于所述健康状态确定是否使用棒或多个清洗线来执行发动机清洗，其中所述清洗标识符包括响应于第一健康状态使用所述棒的指示，以及响应于第二健康状态使用所述多个清洗线的指示；以及

响应于所述清洗指示，使用所述棒或所述多个清洗线中的至少一者来将清洁介质施加至所述涡轮发动机。

[0019] 技术方案10. 根据技术方案1所述的方法，其中，生成至少一个性能参数包括：

基于所述传感器数据来生成所述涡轮发动机的压缩机性能参数；以及

通过将气体端口跟踪过滤器施加至所述传感器数据,基于所述传感器数据生成所述涡轮增压机的压缩机效率参数;

其中确定所述健康状态包括,将所述压缩机性能参数与预期压缩机性能参数相比较,以及将所述压缩机效率参数与预期压缩机性能参数相比较。

[0020] 技术方案11. 根据技术方案1所述的方法,其中,生成至少一个性能参数包括:

基于所述传感器数据和用于所述涡轮增压机的累积损伤模型生成用于所述涡轮增压机的使用寿命参数。

[0021] 技术方案12. 根据技术方案1所述的方法,其中:

所述至少一个发动机性能参数包括产物参数,所述产物参数包括产物部分的累积状况;以及

所述方法还包括,至少部分地基于与所述部分相关联的导出损伤因子或环境传感器数据中的至少一者确定所述产物部分的累积状况参数。

[0022] 技术方案13. 根据技术方案1所述的方法,还包括:

基于所述健康状态确定来自多个清洗类型的特定清洗类型;以及

基于所述健康状态确定用于清洗所述涡轮增压机的间隔;

其中所述清洗标识符包括清洗类型标识符和清洗范围标识符。

[0023] 技术方案14. 根据技术方案1所述的方法,还包括:

基于所述健康状态确定来自多个清洗范围的特定清洗范围;

其中所述清洗标识符包括清洗范围标识符。

[0024] 技术方案15. 根据技术方案13所述的方法,其中:

确定特定清洗范围包括选择小于多个管道镜孔的全部的子集来用于施加清洁介质。

[0025] 技术方案16. 根据技术方案13所述的方法,其中:

确定特定清洗范围包括选择定位在发动机入口附近的小于多个入口喷嘴的全部的子集。

[0026] 技术方案17. 根据技术方案13所述的方法,其中,生成清洗标识符包括生成清洁介质经由其施加至所述涡轮增压机的多个清洗线中的一个或多个的标识符。

[0027] 技术方案18. 根据技术方案13所述的方法,其中,确定特定清洗范围包括:

响应于第一健康状态选择涡轮清洗;以及

响应于第二健康状态选择压缩机清洗。

[0028] 技术方案19. 一种计算装置,包括:

包括处理器可读代码的一个或多个存储装置;以及

与所述一个或多个存储装置通信的一个或多个处理器,所述一个或多个处理器运行所述处理器可读代码,以:

接收基于至少一个清洗事件之前的发动机传感器数据的一个或多个性能参数的第一组,以及基于所述至少一个清洗事件之后的发动机传感器数据的一个或多个性能参数的第二组,所述第一组和第二组性能参数代表与所述涡轮增压发动机相关联的一个或多个颗粒值;

基于所述第一组性能参数与所述第二组性能参数之间的差异确定恢复参数;

基于所述恢复参数生成污染累积模型;以及

基于所述污染累积模型生成清洗标识符。

[0029] 技术方案20. 一种存储计算机指令的非暂时性计算机可读介质,所述计算机指令在由一个或多个处理器运行时,引起所述一个或多个处理器执行以下步骤:

由包括至少一个处理器的系统接收代表涡轮发动机的一个或多个测量的发动机的参数的传感器数据;

由所述系统基于所述传感器数据确定一个或多个颗粒值;

由所述系统使用所述一个或多个颗粒值确定与所述涡轮发动机相关联的健康状态;

由所述系统确定所述健康状态满足阈值;以及

由所述系统响应于确定所述健康状态满足阈值而生成清洗建议输出。

附图说明

[0030] 包括针对本领域的普通技术人员的其最佳模式的本公开内容的完整且充分的公开在参照附图的说明书中提出,在附图中:

图1绘出了根据示例性实施例的航空运载器。

[0031] 图2为根据示例性实施例的清洗优化系统的框图。

[0032] 图3为描述用于优化涡轮发动机的清洗事件的过程的示例性实施例的流程图。

[0033] 图4为根据示例性实施例的清洗优化系统的框图。

[0034] 图5为描述用于生成污染累积模型的过程的示例性实施例的流程图。

[0035] 图6为描述用于生成清洗标识符的过程的示例性实施例的流程图。

[0036] 图7为描述用于确定清洗类型和清洗时机的过程的示例性实施例的流程图。

[0037] 图8为描述用于确定清洗范围的过程的示例性实施例的流程图。

[0038] 图9为根据示例性实施例的清洗模块的透视图。

[0039] 图10为根据示例性实施例的清洗模块的示意图。

[0040] 图11为可并入图9中的清洗模块中的根据示例性实施例的分配歧管的示意图。

[0041] 图12为可与燃气涡轮发动机一起操作的根据示例性实施例的清洗模块的示意图。

[0042] 图13为绘出根据示例性实施例的包括棒的清洗系统的框图。

[0043] 图14为计算系统的示例的框图。

[0044] 附图标记

参照标号 构件

20 清洗系统

22 清洗槽模块

24 清洗模块

30 控制系统

32 装置

34 无线网络

36 清洗槽

38 出口

40 快速释放连接
52 控制器
54 泵
56 分配歧管
58 清洗线
60 流体连接线
62 电源
64 出口
66 管
68 传感器
70 阀
72 控制器
74 喷洒喷嘴
76 附接部分
78 阀
80 流量计
82 入口喷嘴组件
84 入口喷嘴
100 涡扇发动机
101 纵向轴线
101 纵向中心线
102 风扇区段
104 涡轮发动机
104 传感器
106 外壳
108 入口
110 低压 (LP) 压缩机
112 高压 (HP) 压缩机
114 燃烧器区段
116 高压 (HP) 涡轮
118 低压 (LP) 涡轮
120 喷气排气喷嘴区段
121 核心空气流径
122 转轴
124 转轴
126 风扇
128 风扇叶片
130 盘
136 前毂

138 机舱
140 出口导向导叶
142 下游区段
144 旁通空气流通路
146 管道镜孔
172 工具
200 航空运载器
202 发动机
204 传感器
206 计算系统
208 通信总线
300 清洗优化系统
302 传感器数据
304 气体端口跟踪过滤器
306 HPT RUL构件
308 HPC性能构件
310 压缩机效率构件
312 累积损伤构件
314 健康状态构件
316 清洗间隔构件
318 清洗类型构件
320 清洗范围构件
322 HPT清洁构件
324 HPC清洁构件
326 清洗有效性构件
400 过程
420 过程
500 清洗优化系统
502 环境数据
504 操作数据
506 性能参数
508 污染累积构件
510 数据简化构件
512 参照状态
514 压缩健康状态
516 涡轮健康状态
518 发动机健康状态
520 健康状态比较构件
522 清洗决定构件

524 恢复评估构件
526 建模构件
600 计算系统
602 计算装置
604 处理器
606 存储器装置
608 计算机可读指令
610 数据
612 通信接口
720 过程
74A 压缩机喷洒喷嘴
74B 涡轮喷洒喷嘴
74C 燃烧器区段喷洒喷嘴
750 过程
780 过程
802 水清洗系统
804 水喷射喷嘴
806 清洁溶液
812 喷气发动机
824 压缩机。

具体实施方式

[0045] 现在将详细参照本公开内容的实施例,其一个或多个示例在附图中示出。各个示例通过阐释提供,而不限公开的实施例。实际上,本领域的技术人员将清楚的是,可在本公开内容中进行各种改型和变型,而不会脱离权利要求的范围或精神。例如,示为或描述为示例性实施例的一部分的特征可结合另一个实施例使用以产生又一个实施例。因此,期望本公开内容覆盖归入所附权利要求和其等同物的范围内的此类改型和变型。

[0046] 本公开内容的示例性方面针对用于喷气发动机维护的系统和方法,且更具体而言,针对用于优化喷气发动机的清洁的技术。喷气发动机构件如压缩机和涡轮内的污染物的累积随着时间会导致发动机性能劣化。污染物限制穿过发动机的空气流,导致发动机效率损失,因为要燃烧更多燃料来保持期望的发动机性能水平。清洗发动机可去除发动机污染物,且减少性能劣化。传统上,根据预定维护计划来执行发动机维护,包括清洗。在进行清洗决定时,这些维护安排通常未考虑发动机的实际性能和/或状况。相反,传统技术依靠简单的操作数据,如,飞行时间,以确定何时清洗发动机。这些安排并未考虑特定发动机可如何受到发动机清洗的不同类型、持续时间、时机和输送方法的影响。

[0047] 根据公开技术的示例性实施例,提供了一种喷气发动机维护的系统和方法,其使用污染累积建模来预测或计划涡轮发动机内的颗粒累积。系统可评估与清洗事件相关联的恢复,以形成污染物累积模型。系统然后可使用模型来基于传感器数据确定颗粒累积。基于颗粒累积,系统可优化清洗时机来最大化硬件寿命。

[0048] 在一些实施例中,颗粒累积信息用于基于污染物累积建模来确定与发动机相关联的健康状态。使用代表污染的性能参数,系统优化发动机的清洗。例如,系统可将发动机或构件的测量的健康状态与参照状态相比较。如果测量的健康状态与参照状态之间的差异满足阈值,则系统可生成清洗标识符,如,通过生成和传送包括清洗标识符的信号。清洗标识符可触发清洗事件。在一些实施例中,清洗标识符标识清洗事件,且可选地指示清洗类型、范围、持续时间、时机等。

[0049] 在一些实施例中,系统接收代表测量的发动机参数的传感器数据。系统确定代表发动机的测量的状况和/或性能的性能参数。在一些实施例中,性能参数包括代表发动机内的污染的颗粒参数。系统可在接收到附加传感器数据时自动地且随时间更新性能参数。基于如由性能参数代表的颗粒累积,系统生成发动机和/或发动机的一个或多个构件的健康状态。系统可生成发动机的历史、当前和/或预测的健康状态。使用健康状态信息,系统生成清洗标识符来优化发动机的清洁,且因此最大化发动机和/或其构件的使用寿命。在一些实施例中,健康状态包括一个或多个性能参数。

[0050] 系统可使用附加的性能参数作为基于测量的状况和/或性能生成清洗标识符的一部分。在一些实施例中,系统确定压缩机效率参数,如,包括当前或预测的压缩机效率的值。在一些实施例中,系统确定压缩机性能参数。类似地,系统可确定涡轮效率和/或性能参数。

[0051] 在一些实施例中,系统生成指示清洗类型、清洗时机和/或清洗范围的清洗标识符。清洗类型可包括清洗介质、清洗持续时间和清洗输送方法或系统中的一个或多个。举例来说,清洗标识符可标识预定持续时间内的水的外部棒输送,或另一预定持续时间使用的泡沫清洁介质的清洗线内部输送方法。

[0052] 清洗时机标识符可标识执行发动机清洗的特定时机或间隔。系统可优化时机来延长硬件寿命,且有效地维护发动机而无不需要的成本。

[0053] 清洗范围标识符标识清洗范围,包括要清洗的特定发动机或构件位置的彻底性和/或标识。清洗范围标识符可标识使用的输送系统的构件诸如阀或清洗线,以便瞄准发动机的特定部分。

[0054] 提供了用于喷气发动机维护的自动清洗确定的改进的系统。基于处理器的系统构造为专用装置,其基于代表测量的发动机参数的传感器数据提供用于发动机清洗的有效且准确的确定。将传感器数据自动转换成性能参数和健康状态,且随后与参照状态信息相比较更准确地确定了何时应当执行发动机清洗,应当如何执行,以及应当施加清洗的区域。实现了改善的计算性能,同时通过有效且自动的维护安排提供了提高的涡轮发动机性能。

[0055] 图1绘出了根据本公开内容的示例性实施例的示例性航空运载器200。航空运载器200可包括一个或多个发动机202、一个或多个传感器204、计算系统206,以及将该一个或多个传感器204中的至少一个与计算系统206连接的通信总线208。该一个或多个传感器104可检测关于发动机性能的一个或多个参数,如,排气温度(EGT)、EGT热日裕度(EGTHDM)、燃料燃烧、模块效率、发动机性能的其它分析量度等,和/或前述的任何组合。该一个或多个传感器204可将一个或多个检测的参数经由通信总线208通信至计算系统206。例如,计算系统206可为图14中更详细描述的计算系统600。计算系统206可将检测的一个或多个参数传送至与地面系统相关联的计算系统。

[0056] 示例性航空运载器200的构件的数量、位置和/或定向是为了图示和描述的目的,

且不旨在限制。本领域的普通技术人员使用本文提供的公开内容将理解到,航空运载器200的构件的数量、位置和/或定向可调整,而不会脱离本公开内容的范围。

[0057] 图2为根据公开技术的示例性实施例的清洗优化系统300的框图。在一个示例中,系统300使用一个或多个计算装置来实施,如,一个或多个服务器、客户端装置和/或网络装置。在一个示例中,一个或多个计算系统是一个或多个计算系统600。清洗优化系统300可在航空运载器机载的控制系统中实施,如,通过计算系统206,或可实施为基于地面的系统,其从航空运载器接收传感器和/或其它的信息。

[0058] 提高的效率可由清洗引起的发动机内增加的空气流引起。不同类型的发动机清洗可在减少发动机劣化中具有不同的有效性水平。水清洗通常应用于涡轮发动机来去除污染物。冲洗发动机压缩机可去除污垢、沙和/或随时间累积的其它污染物。还可使用其它清洁介质如水和清洁剂组合、水和异丙醇组合、发泡溶液等。发动机清洗可在不同持续时间内且利用各种输送方法来应用。例如,棒可在外部定位在发动机附近,以将清洁介质输送至发动机。备选地,可使用的清洗线联接到发动机的一个或多个部分上,以直接将清洁介质提供至发动机或发动机内。图2描述了一种系统,其基于发动机的状况和/或性能信息来优化发动机的清洗。

[0059] 清洗优化系统300包括气体端口跟踪过滤器304、高压涡轮(HPT)剩余使用寿命(RUL)构件306、高压性能构件308、压缩机效率构件310、累积损伤构件312、健康状态构件314、清洗间隔构件316、清洗类型构件318、清洗范围构件320、HPT清洁构件322、HTP清洁构件324和清洗有效性构件326。系统300的构件可构造在单个计算装置处,或可跨多个计算装置分布。如下文所述,各种构件中的每个可用硬件、软件或硬件和软件两者的组合来实施。

[0060] 大体上,GPTF 304、HPT RUL构件306和HPC性能构件308构造成从涡轮发动机的一个或多个传感器接收传感器数据302。传感器数据代表从喷气发动机测量的一个或多个发动机参数。各种传感器数据302可结合公开技术的实施例来使用。举例来说而不限,传感器数据302可包括环境数据和/或操作数据。在一个示例中,环境数据可包括环境压力、温度、海拔高度、湿度、纬度、经度、飞行城市和/或颗粒。颗粒可包括任何类型的颗粒,如,多个灰尘/沙类型、沾污/雾度、海盐、烟雾、火山灰和硫酸盐。在一个示例中,操作数据可包括发动机参数,如,燃气涡轮温度、压力、燃料流、转子速度、放气(所有类型)、马力提取、飞行长度和/或基于操作状况导出的参数。

[0061] 尽管未示出,但构件304、306和308可接收和/或生成附加数据,如产物参数。产物参数可包括模块化健康状态、关于环境因素的部分中的累积状况,和/或基于模型或分析的导出的损伤因子。一些其它示例包括模块化构件效率、流和压力比。

[0062] GPTF 304接收传感器数据302来跟踪和分析一定时间内的传感器数据。GPTF可用于确定构件劣化、传感器偏差、发动机与发动机的差异等的效果。跟踪过滤器可用于调整模型输出来匹配传感器输出。例如,包括模拟信号的传感器数据如电流、电阻或电压可从传感器接收到。例如,涡轮发动机传感器可测量转子速度、温度、压力等。跟踪过滤器可转换或缩放传感器数据来提供标准单位形式的传感器输出,如,psi、rpm等的单位。

[0063] 在一些实施例中,GPTF 304构造成将计算的发动机参数值与预期的发动机参数相比较。预期发动机参数可使用如下文所述的参照状态来确定。预期发动机参数可由发动机

模型限定。在一些实施例中，GPTF 304可生成性能修改量，其指示预期发动机参数与计算的发动机参数之间的差异。计算的发动机参数和/或性能修改量提供至压缩机效率构件310。

[0064] 在一些实施例中，压缩机效率构件310构造成计算压缩机效率参数。效率参数基于计算的发动机参数和/或性能修改量来计算。压缩机效率参数是代表涡轮发动机的测量性能的性能参数的一个示例。效率参数可代表低压或高压压压缩机构件效率。效率参数可包括冷却流、放气、压力损失等。在示例性实施例中，压缩机效率构件310可基于传感器数据生成涡轮发动机的压缩机性能参数。构件310可基于传感器数据生成涡轮发动机的压缩机效率参数。发动机的健康状态可通过将压缩机性能参数与预期压缩机性能参数相比较和将压缩机效率参数与预期压缩机性能参数相比较来确定。在一些示例中，生成压缩机效率参数包括将气体端口跟踪过滤器施加至传感器数据。

[0065] HPC性能构件308构造成接收传感器数据302，且计算代表发动机的HPC的测量的性能的一个或多个性能参数。

[0066] HPT RUL构件306构造成从CDM构件312接收传感器数据302和累积损伤模型(CDM)。HPT RUL构件306计算一个或多个性能参数，其包括与发动机或发动机的具体构件相关联的剩余使用寿命(RUL)。在示例性实施例中，HPT RUL构件306可基于传感器数据和用于涡轮发动机的累积损伤模型生成用于涡轮发动机的使用寿命参数。

[0067] 健康状态构件314构造成基于HPC性能构件308、HPT RUL构件306和压缩机效率构件310的输出来生成用于涡轮发动机的一个或多个健康状态。健康状态构件314基于如接收的性能参数中代表的涡轮发动机的测量的状况或性能来生成健康状态。由构件314生成的健康状态可包括用于涡轮发动机的健康状态信息，和/或用于涡轮发动机的独立构件如压缩机或涡轮的健康状态信息。

[0068] 清洗间隔构件316从构件314接收健康状态信息，且确定用于涡轮发动机的下一个清洗事件的最佳清洗间隔或时机。清洗间隔构件可分析健康状态信息，以确定最佳时机来最大化涡轮发动机的硬件寿命。

[0069] 清洗类型构件318基于健康状态信息确定用于下一个清洗事件的清洗类型。清洗类型可包括清洗持续时间、清洁介质和/或清洗输送技术。例如，清洗类型构件318可确定应当响应于第一健康状态信息来结合棒输送机构使用水清洗，以及应当响应于第二健康状态信息结合内部清洗线输送机构使用泡沫清洗。第一健康状态信息可指示劣化水平，其低于由第二健康状态信息指示的劣化水平。

[0070] 清洗范围构件320基于健康状态信息确定用于下一个清洗事件的清洗范围。在一个示例中，清洗范围可指示清洗的彻底性。清洗范围可标识待清洗的涡轮发动机的特定部分或构件。例如，清洗范围可标识施加清洗介质所处的特定管道镜孔或入口喷嘴。清洗范围可此外或备选地标识清洗输送机构的要激活的特定部分(如，特定清洗线)来将清洁介质排至涡轮发动机。

[0071] HPT清洁构件322构造成从清洗范围构件320接收清洗事件信息，且触发HPT的清洗。在一些实施例中，HPT清洁构件322生成用于HPT的清洗的标识符。类似地，HPC清洁构件构造成从清洗范围构件320接收清洗事件信息，且触发HPC的清洗。在一些实施例中，HPC清洁构件324生成用于HPC的清洗的标识符。在一个示例中，清洗间隔构件314、清洗类型构件318、清洗范围构件320、HPC和HPT清洁构件322和324是清洗决定构件的子系统。清洗标识符

构件构造成生成清洗标识符,以指示清洗间隔、类型、范围和/或用于清洗的构件。

[0072] 清洗有效性构件326从清洁构件322和324接收信息,且确定清洗事件的有效性的水平。构件326生成输出,输出由CDM构件312使用来更新发动机或发动机部分的累积损伤模型。在示例性实施例中,构件326可确定与发动机相关联的剩余使用寿命的计划的量度,使得基于剩余使用寿命的计划量度来生成清洗标识符。在一些示例中,计划性能恢复是涡轮发动机的压缩区段的,且剩余使用寿命的计划量度是压缩区段的。

[0073] 图3为描述用于优化涡轮发动机的清洗事件的过程400的流程图。可执行过程400来基于发动机状况和/或性能生成健康状态,且基于健康状态生成清洗标识符。在一些实施例中,过程400可由清洗优化系统300来执行,然而过程400不限于此环境。过程300可由服务器或其它计算装置实施,以确定健康状态信息,且生成清洗标识符,如,指示清洗事件的信号。过程400可由一个或多个装置执行,如,构造成执行所述操作的一个或多个电路或一个或多个专用网络装置。过程400可备选地全部或部分由处理器实施,例如,如,用于对处理器编程的处理器可读代码。过程400出于图示和论述的目的绘出了所述框的特定顺序。本领域的普通技术人员使用本文提供的公开内容将理解到,本文公开的任何方法的各种框可以以各种方式变化、改变、重新排列和/或改变,而不脱离本公开内容的范围。

[0074] 在402处,系统接收代表涡轮发动机的测量的发动机参数的传感器数据。在一些实施例中,402由GPTF 304、HPT RUL构件306和/或HPC性能构件308执行。在另一个示例中,框402由下文所述的数据简化构件510执行。

[0075] 在一个示例中,传感器数据可从一个或多个传感器204获得。在另一个示例中,传感器数据可从数据库或其它存储位置获得。传感器数据包括或代表涡轮发动机的测量的参数。举例来说,测量的参数可包括操作数据,如,燃气涡轮温度、压力、燃料流、转子速度、放气(所有类型)、马力提取、飞行长度和/或基于操作状况的导出参数。此外或备选地,测量的参数可包括环境数据如环境压力、温度、海拔高度、湿度、纬度、经度、飞行城市和/或颗粒,其包括所有类型,如,多种灰尘/沙类型、沾污/雾度、海盐、烟雾、火山灰和/或硫酸盐。

[0076] 在404处,系统基于传感器数据确定至少一个性能参数。在一些实施例中,框404由HPT RUL构件306、HPC性能构件308和/或压缩机效率构件310执行。在另一个示例中,框402由数据简化构件510执行。

[0077] 在一个示例中,性能参数从测量的发动机参数计算出。例如,性能参数可包括发动机的一个或多个构件的模块健康指示物或一个或多个构件的累积状况。累积状况可基于环境数据和/或基于模型和/或分析导出的损伤因子来计算。举例来说,性能参数可包括模块构件效率如,HPT效率或HPC效率、空气和燃料的流速和/或压力比。性能参数还可包括残余EGT、残余燃气涡轮温度,或至特定发动机构件的残余燃料流。

[0078] 在示例性实施例中,性能参数可包括导出的参数,如,基于传感器数据确定的污染水平。污染性能参数可指示发动机、发动机构件或模块或发动机部分内的污染物的水平。在一些实施例中,污染性能参数是计算的颗粒量,颗粒阻挡冷却通路,或引起热层,热层影响冷却空气有效性。

[0079] 在一个示例中,使用一个或多个模型生成性能参数。在一个示例中,模型可包括查找表模型或基于物理的模型(例如,气动热力学模型)。模型通过基于输入估计输出特征化涡轮发动机。模型输入可包括传感器数据,如,促动器位置、温度、压力、海拔高度等,且输

出可包括处理的传感器数据,包括性能参数,如,压力比、温度比、推力、失速裕度等。模型输出可基于模型中的涡轮发动机的一组操作状况或参数来计算为用于传感器输出的估值。系统可使用一个或多个污染累积模型来确定污染性能参数。

[0080] 在406处,系统基于性能参数生成用于涡轮发动机的健康状态。在一些实施例中,框406由健康状态构件314执行。在另一个示例中,框406由数据简化构件510执行。

[0081] 在一些实施例中,健康状态代表发动机和/或发动机的构件的累积健康状况。例如,健康状态可针对整个发动机和/或针对发动机的一个或多个构件如压缩机或涡轮来确定。在一些实施例中,健康状态是代表与发动机或构件相关联的多个性能参数的值。健康状态是发动机或构件的状况和/或性能的标识符。健康状态可代表与发动机或构件相关联的退化量,或用于发动机或构件的剩余操作寿命的量。在一些实施例中,健康状态基于污染累积模型计算,以指示发动机内的颗粒累积。

[0082] 系统还可生成用于发动机或一个或多个发动机构件的参照状态。参照状态可基于一个或多个发动机在一定时间内的累积和/或标准化的传感器数据。参照状态可代表一个或多个发动机参数的预期状况或性能。参照状态可模拟涡轮发动机,且基于代表不同环境和操作状况下的发动机参数的涡轮发动机模型来确定。参照状态提供参照信息,其包括基于特定操作和/或环境数据的发动机的预期性能参数。在一些实施例中,框406包括将当前或计划的健康状态与参照状态相比较。

[0083] 在408处,系统基于发动机或发动机构件的健康状态生成清洗标识符。在一些实施例中,框408由清洗间隔构件316、清洗类型构件318和/或清洗范围构件320执行。在另一个示例中,框408由清洗决定构件522执行。

[0084] 在一些实施例中,清洗标识符基于健康状态有条件地生成。清洗标识符可基于满足阈值标准的健康状态来生成。例如,系统可响应于确定健康状态与参照状态之间的差异满足阈值标准来生成清洗标识符,在一个示例中,如,通过满足或超过阈值差异的差异。在一些实施例中,响应于确定与参照状态和健康状态相关联的独立性能参数之间的差异满足阈值标准来生成清洗标识符。

[0085] 各种清洗标识符可在框408处生成。在一个示例中,清洗标识符是发动机清洗应当针对选择的发动机执行的指示。清洗标识符还可包括清洗类型标识符、清洗时机或间隔标识符和/或清洗范围标识符。

[0086] 在412处,系统传送信号,如,包括清洗标识符的输出信号。在一个示例中,信号指示清洗事件的通知。在一些实施例中,信号传送至与技术人员相关联的计算装置。信号生成向技术人员指示应执行清洗事件的输出。在另一个实施例中,信号传送至自动清洁系统。响应于信号,系统自动地执行指示的清洗事件,包括清洗类型、时机和/或范围。

[0087] 图4为根据公开技术的示例性实施例的清洗优化系统500的框图。在一个示例中,清洗优化系统500提供清洗优化系统300的附加细节。在一个示例中,系统500使用一个或多个计算装置来实施,如,一个或多个服务器、客户端装置和/或网络装置。在一个实施例中,一个或多个计算系统是一个或多个计算系统600。清洗优化系统500可在航空运载器机载的控制系统中实施,如,通过计算系统206,或可实施为基于地面的系统,其从航空运载器接收传感器和/或其它的信息。

[0088] 清洗优化系统500包括污染累积构件508、数据简化构件510、健康状态比较构件

520、清洗决定构件522、恢复评估构件524和建模构件526。系统500的构件可构造在单个计算装置处,或可跨过多个计算装置分布。如下文所述,各种构件中的每个可用硬件、软件或硬件和软件两者的组合来实施。

[0089] 数据简化构件510接收传感器数据,包括测量的发动机参数,如,环境数据502和/或操作数据504。数据简化构件510处理测量的数据,且确定与发动机相关联的一个或多个性能参数506。数据简化构件可进行发动机和模块健康状态计算,包括历史、当前和预测的参数计算。除健康状态计算之外,减少构件可提供基于物理的模型,其提供热力平衡的解决方案以提供模块健康状态。

[0090] 在一些实施例中,性能参数代表涡轮发动机的状况和/或性能。性能参数从测量的发动机参数导出来代表发动机的实际状况或性能。在一些实施例中,通过累积一定时间内的传感器数据来生成性能参数,以生成发动机寿命内的实际和/或预期的性能参数。不同于仅指示操作或环境状况的测量的发动机参数,性能参数指示发动机参数引起的发动机或构件的实际性能或状况。作为特定示例,性能参数可包括累积的状况信息、模块构件效率、压力比和空气和燃料流。

[0091] 数据简化构件510基于性能参数生成各种健康状态信息。在图4的示例中,数据简化构件510生成参照状态512、压缩健康状态514、涡轮健康状态516和发动机健康状态518。在其它示例中,可生成附加或更少的健康状态。参照状态512代表发动机或模型类型的预期性能参数。参照状态512可基于一定时间内接收的传感器数据来生成。系统可跟踪构件和发动机以形成预期的性能参数值。传感器数据处理成确定预期性能参数。

[0092] 发动机健康状态518代表与发动机相关联的总体系统健康。类似地,涡轮健康状态516代表涡轮系统的健康。压缩健康状态514代表压缩系统的健康。在一个示例中,健康状态基于从传感器数据计算的性能参数生成。在一个示例中,与发动机或构件相关联的性能参数可组合来形成包括指示发动机或构件的健康的值的健康状态。

[0093] 数据简化构件可跟踪任何部分,且提供剩余使用寿命(RUL)或类似参数。构件可利用到来的新传感器数据自动地和连续地运转。

[0094] 历史状态比较构件520将与发动机或构件相关联的实际健康状态与用于发动机或构件的参照状态相比较。在一些实施例中,比较构件520将发动机健康状态518或构件健康状态514或516的独立性能参数与参照状态512中的预期性能参数相比较。例如,与发动机或构件相关联的实际性能参数之间的差异可与预期性能参数相比较。在另一个示例中,系统将用于选择的发动机或构件的总体健康状态值与用于选择的发动机或构件的参照状态值相比较。

[0095] 清洗决定构件522确定清洗事件是否应基于健康状态比较结果执行。例如,如果实际发动机或构件健康与预期发动机或构件健康之间的差异满足阈值标准,则可安排清洗和/或生成清洗指示符。例如,如果差异超过阈值差异,则可生成清洗标识符。

[0096] 清洗决定构件522可确定与清洗事件相关联的清洗类型、清洗时机和/或清洗范围。决定构件522可生成指示确定的清洗类型、时机和/或范围的清洗标识符。

[0097] 恢复评估构件524确定由一个或多个清洗事件实现的实际性能恢复。恢复评估构件可在清洗事件之前和之后比较发动机参数,以评估恢复。备选地或此外,评估构件可比较从传感器数据确定的性能参数。在一些实施例中,评估构件524确定代表与发动机相关联的

实际性能恢复的值。评估构件524可将实际恢复与清洗事件的预期性能恢复相比较。该信息可提供回清洗决定构件522,其可使用信息来确定是否应执行附加清洗。此外,评估构件的输出可用于确定压缩机性能参数和/或涡轮RUL参数。

[0098] 建模构件526构造成基于恢复评估来重置或更新各种模型。例如,预测和/或诊断模型(例如,由CDM构件312生成的损伤模型)可基于恢复评估来更新。

[0099] 根据一些实施例,清洗优化系统跟踪发动机健康(如,一定时间内的压缩系统健康)来作为优化清洗时机的一部分。在一些实施例中,作为健康跟踪的一部分,系统测量与一个或多个清洗事件相关联的恢复。例如,恢复评估构件524可测量与一个或多个发动机清洗相关联的恢复量。在一些实施例中,恢复量可用于生成恢复参数值。

[0100] 在一些实施例中,系统测量发动机或模块的可恢复和/或不可恢复的健康。评估构件可归因于可恢复和不可恢复的健康。可恢复的健康是与劣化发动机健康但可通过清洗来去除的那些环境元素相关联的。不可恢复的健康包括归因于部分的操作引起的材料退化的那些元素。系统可测量和跟踪一定时间内的可恢复的健康作为建模发动机性能和退化的一部分。

[0101] 在一些实施例中,建模构件526跟踪清洗的长期影响,且生成展示清洗的长期影响的一个或多个模型。在示例性实施例中,例如,这些模型可由清洗决定构件522使用,以确定最佳清洗时机。此外,这些模型可用于确定最佳清洗介质、输送方法、范围等。

[0102] 在一些实施例中,建模构件526基于性能参数和从清洗事件测量的恢复来生成污染累积模型。建模构件可确定和生成展示清洗事件期间去除的颗粒水平的模型。模型可展示去除颗粒的发动机的多个部分上的影响。

[0103] 在一些实施例中,建模构件526将性能恢复和颗粒的去除整合到一个或多个模型中。此模型指示去除颗粒和发动机恢复如压缩系统恢复受清洗的影响。系统因此连同用于发动机、模块或部分的RUL的计划水平指示改善水平。

[0104] 根据示例性实施例,清洗优化系统将污染累积模型整合成清洗决定过程。系统可构造成计算累积在发动机、构件或发动机的一部分内的颗粒量。系统可确定阻挡冷却通路和/或引起影响冷却有效性的热层的颗粒量。这些颗粒确定可用于安排清洗事件来最大化硬件寿命。

[0105] 污染累积构件508可应用一个或多个污染累积模型来确定与发动机内的污染物的累积相关联的颗粒量。构件508可接收传感器数据,如环境数据,其用于基于一个或多个模型估计或预测与发动机或发动机构件相关联的一个或多个颗粒量。在示例性实施例中,颗粒量用于生成压缩健康状态514或涡轮健康状态516。在一些实施例中,数据简化构件510构造成评估累积在发动机、模块或部分中的污染物的水平。污染物的水平可用于生成一个或多个污染物参数值。如过程400中的框406处所述,这些参数值可用于生成发动机或构件健康状态。

[0106] 图5为描述根据示例性实施例的生成污染累积模型的过程420的流程图。分别如图2和图4中所示,过程420可由清洗优化系统300或500来执行。过程420可在一个或多个装置中或由一个或多个装置实施,如,构造成生成污染累积模型的一个或多个电路或一个或多个专用网路装置。备选地,过程可在处理器中实施,例如,如,用于对处理器编程的处理器可读代码。

[0107] 在402处,系统存取或另外接收代表清洗事件之前的涡轮增压发动机中的污染物累积的一个或多个性能参数。性能参数可由图4中的污染累积构件508或数据简化构件510来确定。传感器数据可处理成确定与发动机、发动机构件或发动机部分相关联的污染物的量,如,颗粒累积。

[0108] 在404处,系统接收代表清洗事件之后涡轮增压发动机中的污染物累积的一个或多个性能参数。清洗事件之后,404处的性能参数可如框402处所述来确定。

[0109] 在406处,系统确定与发动机清洗事件相关联的恢复参数。例如,系统可比较清洗事件之前和之后的一个或多个参数来确定恢复值。恢复值代表由清洗事件去除的污染物的水平。

[0110] 在408处,系统更新或生成一个或多个污染累积模型来指示与清洗相关联的污染物去除水平。框408可包括添加或更新模型来包括恢复参数值。在一些实施例中,框908包括使参数值与现有的值累加来指示去除水平。

[0111] 参照图3,在一些实施例中,系统可使用污染累积模型在步骤404处确定性能参数和/或在步骤406处生成健康状态。因此,清洗标识符可在步骤408处生成,其基于污染累积水平。

[0112] 图6是描述根据示例性实施例的过程720的流程图,其有条件地指示发动机清洗应当基于涡轮增压发动机的测量的状况或性能来执行。过程720使用阈值标准来确定涡轮增压发动机的健康状态是否指示应当执行发动机清洗。过程720是可在图3的框408处执行的生成清洗标识符的过程的一个示例。分别如图2和图4中所示,过程720可由清洗优化系统300或500来执行。过程720可在一个或多个装置中或由一个或多个装置实施,如,构造成基于健康状态信息生成清洗标识符的一个或多个电路或一个或多个专用网络装置。备选地,过程可在处理器中实施,例如,如,用于对处理器编程的处理器可读代码。

[0113] 在724处,系统将发动机或发动机构件的健康状态信息与对应于发动机或发动机构件的参照状态信息相比较。在一些实施例中,框724由图2中的健康状态构件314或图4中的比较单元520执行。在一个示例中,框724包括将代表涡轮增压发动机的累积健康状况的健康状态值与参照状态值相比较。在另一个示例中,框724包括将健康状态的独立性能参数值与参照参数值相比较。

[0114] 在726处,系统确定健康状态是否满足阈值标准。在该示例中,系统确定健康状态与参照状态之间的差异是否超过阈值差异。可使用用于确定是否满足阈值标准的其它技术。

[0115] 如果差异未超过阈值,则过程回到框728处,而不生成清洗标识符。系统确定未满足安排或执行清洗的阈值标准,所以不生成清洗标识符。在一个示例中,框728包括生成不应执行清洗的标识符。在另一个示例中,框728包括不生成任何标识符。

[0116] 如果差异超过阈值,则在730处确定最佳清洗时机。在一个示例中,系统计算清洗的长期影响,且预测与清洗相关联的改善水平。基于跟踪一定时间内的发动机健康信息,系统识别用于清洗的优化时机。最佳时机可基于提高的发动机性能,以及成本和效率考虑,其中去除发动机来用于清洗事件。

[0117] 在732处,系统确定用于清洗的清洗类型。清洗类型可包括清洁介质、清洁持续时间和/或介质输送方法或设备。清洗类型可基于待清洁的发动机或构件的健康状态来确定。

[0118] 在734处,系统确定用于清洗的清洗范围。清洗范围可标识待清洁的发动机或构件的特定部分,和/或用于输送清洁介质的清洗输送设备的特定构件。例如,系统可从健康状态信息确定具有低于预期的参数的发动机的特定部分。系统可选择对应于特定发动机部分的清洗范围。

[0119] 在736处,系统生成指示清洗时机、清洗类型和/或清洗范围的清洗标识符。

[0120] 图7为确定用于清洗事件的清洗类型和时机的根据示例性实施例的过程750的流程图。过程750是选择清洗类型和时机且生成清洗标识符的过程的一个示例,在一个示例中,该过程可在图6的框730和732处执行。分别如图2和图4中所示,过程750可由清洗优化系统300或500来执行。过程750可在一个或多个装置中或由一个或多个装置实施,如,构造成基于健康状态信息生成清洗标识符的一个或多个电路或一个或多个专用网络装置。备选地,过程可在处理器中实施,例如,如,用于对处理器编程的处理器可读代码。

[0121] 在752处,系统存取健康状态信息。在一些实施例中,例如,系统存取健康状态信息518或构件健康状态信息514、516。在一些实施例中,系统存取如可在过程720的框724处生成的健康状态比较信息。

[0122] 在754处,系统基于健康状态信息来确定多个发动机清洗类型的预期的有效性。在一些实施例中,系统使用与不同清洗类型相关联的一个或多个模型。系统可输入性能参数或健康信息,且接收代表可由相关联的清洗类型实现的性能恢复量等的输出。在一些实施例中,系统接收关于发动机性能的多个参数和关于特定清洗类型的多个参数。清洗参数可标识清洗日期、时间、清洗装置、清洗循环数、清洁介质,和/或描述清洗类型的其它属性。特定的值或值范围可用于每个发动机清洗参数。系统可基于性能参数和清洗参数来确定清洗类型的有效性。系统可生成代表清洗事件之后的发动机性能的发动机参数。后清洗发动机参数可基于累积的发动机清洗信息、发动机清洗有效性的一个或多个模型等来生成。系统将接收的性能参数与针对清洗事件模拟的性能参数相比较,且确定清洗类型的有效性。

[0123] 在一些实施例中,标准化的性能参数可与预期性能参数相比较。可选择将发动机参数设在预期性能参数处或更接近其的适合的清洗类型。例如,如果由棒输送的短持续时间的水清洗将充分清洁发动机而满足预期性能参数,则可选择该特定清洗类型。如果需要泡沫、酒精或清洗线内部输送的附加清洁,则可选择对应的清洗类型。

[0124] 在756和758处,系统分别基于预期有效性来选择清洗类型和清洗时机。在一个示例中,系统选择具有最高额定有效性的清洗类型。在其它示例中,系统可选择具有当前最高额定有效性的清洗类型。在另一个示例中,系统选择在未来的特定时间具有最高计划的有效性水平的清洗类型。清洗时机可选择成最大化发动机或构件的寿命预期。清洗时机还可选择成最大化维护过程的效率(例如,降低成本),且避免非期望的清洗。

[0125] 在760处,系统生成选择的清洗类型和清洗时机的标识符。

[0126] 图8为描述确定用于清洗事件的清洗范围的根据示例性实施例的过程780的流程图。过程780是选择清洗范围和生成清洗标识符的过程的一个示例,该过程在一个示例中可在图6的框734处执行。分别如图2和图4中所示,过程780可由清洗优化系统300或500来执行。过程780可在一个或多个装置中或由一个或多个装置实施,如,构造成基于健康状态信息生成清洗标识符的一个或多个电路或一个或多个专用网络装置。备选地,过程可在处理器中实施,例如,如,用于对处理器编程的处理器可读代码。

[0127] 在782处,系统识别与清洗事件相关联的发动机或发动机构件。在784处,系统确定事件的清洗类型是否指定棒清洗来在外部施加到涡轮发动机,或线清洗来在内部输送清洁介质。

[0128] 如果清洗类型设置为棒清洗,则系统在794处选择用于清洗的发动机或构件的部分。在一个示例中,系统基于健康状态信息来识别特定发动机部分,如,关于特定发动机部分的性能参数。在796处,系统生成由棒清洗瞄准的发动机部分的一个或多个标识符。在一些实施例中,框794省略,且系统生成标识符来清洗发动机或发动机构件,而不识别其特定部分。

[0129] 如果清洗类型设置成线清洗,则系统在786处选择将清洗的发动机或发动机构件的部分。在一个示例中,基于健康状态信息来识别部分。

[0130] 在788处,系统识别特定的管道镜孔、增压器入口和/或入口喷嘴等,以用于施加清洁介质。系统可识别特定的孔或喷嘴,经由其,可达到发动机或构件的瞄准的部分。

[0131] 在790处,系统识别清洁设备的清洗线、阀等,其可用于将清洁介质输送至识别的管道镜孔、入口喷嘴等。如下文所述,可使用多个清洗线系统,其中喷洒喷嘴附接到独立的管道镜孔等上。框790可包括识别特定的线、喷嘴等,以附接到识别的管道镜孔上。此外,清洗系统可包括阀或分配歧管等,以控制清洁介质至特定清洗线的流。框790可包括识别分配歧管的特定阀或部分,以控制或改变清洁介质流分配至清洗系统的不同部分,且因此发动机或构件的不同部分。每个阀可独立地操作成精确地控制与期望的清洗范围对应的发动机部分的输送。

[0132] 在792处,系统生成输送系统的特定部分的一个或多个标识符。

[0133] 图9-12绘出了根据示例性实施例的清洗系统,其包括清洁介质的可控制的分配。图9提供了根据本主题的示例性实施例的在其可包含在模块泡沫车(未示出)时的清洗模块24的透视图。清洗模块24是清洗系统的一个示例,其包括用于将清洁介质在内部输送至涡轮发动机的多个线。图10提供了根据本公开内容的示例性方面的清洗模块24的示意图。在某些示例性实施例中,图9和图10的清洗模块24可结合上文分别参照图2和图4所述的清洗优化系统300和500来使用。然而,应认识到,在其它实施例中,参照图9和图10所述的清洗模块24可改为结合任何其它适合的清洗系统使用,如,单个整合的清洗系统。

[0134] 如图所示,清洗模块24大体上包括泵54和分配歧管56和多个清洗线58。更具体地,泵54构造成接收清洗液体流,且加压清洗液体流。泵54构造成可释放地流体连接至清洗槽模块22的清洗槽36的出口38。例如,对于所示实施例,清洗模块24包括流体连接线60,其中流体连接线60构造成可释放地流体地连接至清洗槽模块22的清洗槽36的出口38。例如,当结合清洗槽模块22使用时,清洗模块24的流体连接线可经由快速释放连接40来释放地流体地连接至出口38。

[0135] 尽管未示出,但泵54可包括变频驱动马达,使得其在各种功率水平下操作。然而,在其它实施例中,可使用任何其它适合的泵,包括任何而其它适合类型的马达(如,恒定频率马达)。此外,如图所示,泵54电连接至电源62,电源可为电池,或任何其它适合的电源。电源62可向泵54提供所需的电功率量,以将接收的清洗液体加压到期望的压力。

[0136] 泵54的出口64流体地连接至延伸至分配歧管56的管66,使得分配歧管56流体地连接至泵54来从泵54接收加压清洗液体流。对于所示实施例,在分配歧管56上游,清洗模块24

包括传感器68,例如,用于感测温度和/或压力,以及阀70。对于所示实施例,阀70定位在管66中,且可在允许清洗液体完全流过管66的开启位置与防止任何清洗液体流过管66的闭合位置之间移动。在某些示例性实施例中,阀70可为可变吞吐量的阀,其可在开启位置与闭合位置之间的各种位置之间移动,以允许期望量的清洗液体穿过管66。

[0137] 分配歧管56构造成从管66接收清洗液体流(即,来自泵54的加压清洗液体流),且将此清洗液体流分配至多个清洗线58。分配歧管56可操作地连接至清洗模块24的控制器72。值得注意的是,控制器72还可操作地连接至清洗模块24的各种其它构件。具体地,对于所示实施例,除分配歧管56外,控制器72可操作地连接至电源62、泵54、传感器68和阀70。控制器72可构造成类似于控制系统30的计算装置32,且可例如经由无线通信网络34来与清洗系统20的控制系统30通信。例如,如下文更详细所述,控制器72可构造成控制加压清洗液体经由分配歧管56流至多个清洗线58。

[0138] 此外,如图所示,多个清洗线58流体地连接至分配歧管56,以用于从其接收加压清洗液体的至少一部分。尽管对于所示实施例,分配歧管56流体地连接至四(4)个清洗线58,但在其它实施例中,清洗系统20的清洗模块24可改为包括流体地连接至分配歧管56的任何其它适合数量的清洗线58。如将从以下描述认识到,分配歧管56可在某些实施例中构造成以固定方式分配加压清洗液体流。例如,分配歧管56可构造成使加压清洗液体流大致均匀地在流体地连接至其的多个清洗线58中的每个之间分流。此外或备选地,分配歧管56可构造成使加压清洗液体流以非均匀方式在流体地连接至其的多个清洗线58之间分流(即,相比其它,将更多清洗液体分配到某些清洗线58)。在又一些示例性实施例中,分配歧管56可构造成根据例如用于各种清洗线58的独立喷洒安排来改变各种清洗线58之间的加压清洗液体流的分配。

[0139] 例如,现在参照图11,绘出了根据本公开内容的另一个示例性实施例的清洗系统或更具体而言包括分配歧管56的清洗模块24。正如图10的实施例,示例性分配歧管56经由管66流体地连接至清洗模块24的泵54。此外,如下文更详细所述,清洗模块24还包括多个喷洒喷嘴74,其中每个喷洒喷嘴74附接至相应的清洗线58。多个喷洒喷嘴74中的每个包括用于附接至燃气涡轮发动机中的相应的管道镜孔的附接部分76,以提供与管道镜孔(例如,见图12中的管道镜孔146)的大致不透空气且不透水的连接。

[0140] 此外,示例性分配歧管56构造成改变各种清洗线58之间的加压清洗液体流的分配。具体地,分配歧管56包括多个阀78,其中多个阀78中的每个将相应的清洗线58流体地连接至泵54。每个阀78可为可变吞吐量的阀,其可在允许加压清洗液体完全流过其间的完全开启位置、不允许加压液体流过其间的完全闭合位置,以及其间的多种位置之间移动。例如,一个或多个可变吞吐量的阀78可构造为螺线管阀或螺线管激活的阀,或备选地作为比率调节阀。

[0141] 此外,对于所示实施例,多个阀78中的每个独立地可操作地连接至控制器72,使得多个阀78可独立于彼此操作。因此,控制器72可控制多个阀78,使得每个根据其自身的独特流安排(例如,流速、压力、持续时间等)来操作。

[0142] 除多个阀78之外,分配歧管56还包括多个流量计80,其中每个流量计80与多个清洗线58中的清洗线流体58流体连通,以测量流过其间的加压清洗液体的流速。更具体地,对于所示实施例,分配歧管56包括每个阀78下游的流量计80,以用于测量流至(和流过)每个

清洗线58的清洗液体的流速。然而,在其它实施例中,一个或多个流量计80可改为定位在相应的阀78上游,或任何其它适合的位置处。

[0143] 正如多个阀78,每个流量计80可操作地连接至控制器72,使得控制器72可从相应的流量计80经由每个清洗线58接收指示清洗线的流速的信息。控制器72可使用此信息来控制多个阀78中的一个或多个。例如,控制器72可依靠反馈环操作,以确保清洗液体在期望的流速下流至和流过特定清洗线58。

[0144] 现在参照图12,绘出了根据本公开内容的示例性实施例的清洗系统20的清洗模块24的示意图,其用于燃气涡轮发动机的清洗操作。在一些实施例中,图12的清洗模块24可以与上文所述的示例性清洗模块24大致相同的方式构造。例如,清洗模块24大体上包括泵54、流体地连接至泵54来从其接收加压的清洗流体流的分配歧管56,以及流体地连接至分配歧管56的多个清洗线58。

[0145] 如所述,清洗模块24在图12中所示的实施例中用于燃气涡轮发动机的清洗操作,这也示意性绘出。绘出的燃气涡轮发机构造为高旁通涡扇发动机,本文中称为“涡扇100”。如图所示,涡扇100限定轴向方向A(平行于用于参照提供的纵向中心线101延伸)、径向方向R和周向方向C(围绕轴向方向A延伸)。此外,涡扇100包括风扇区段102和设置在风扇区段102下游的涡轮发动机104。所示涡轮发动机104大体上包括限定环形入口108的大致管状的外壳106。外壳106以串流关系包围:包括第二增压器或低压(LP)压缩机110和第一高压(HP)压缩机112的压缩机区段;燃烧器区段114;包括第一高压(HP)涡轮116和第二低压(LP)涡轮118的涡轮区段;以及喷气排气喷嘴区段120。压缩机区段、燃烧器区段114和涡轮区段一起限定核心空气流径121,其从环形入口108延伸穿过LP压缩机110、HP压缩机112、燃烧器区段114、HP涡轮116区段116、LP涡轮区段118和喷气排气区段120。第一高压(HP)轴或转轴122将HP涡轮116传动地连接至HP压缩机112。第二低压(LP)轴或转轴124将LP涡轮118传动地连接至LP压缩机110。

[0146] 对于所示示例性实施例,风扇区段102包括风扇126,其具有以间隔开的方式联接至盘130的多个风扇叶片128。如图所示,风扇叶片128从盘130大体上沿径向方向R向外延伸。在某些方面,风扇126可为可变桨距风扇,使得凭借可操作地联接至促动部件的多个风扇叶片,多个风扇叶片128中的每个可围绕桨距轴线相对于盘旋转。

[0147] 仍参照图12的示例性实施例,盘130由可旋转的前毂136覆盖,其为空气动力轮廓,以促进空气流穿过多个风扇叶片128。此外,风扇区段102包括环形风扇壳或外机舱138,其沿周向包绕风扇126和/或涡轮发动机104的至少一部分。机舱138由多个沿周向间隔开的出口导向导叶140关于涡轮发动机104支承。机舱138的下游区段142在涡轮发动机104的外部上延伸,以便限定其间的旁通空气流通路144。

[0148] 仍参照图12,风扇叶片128、盘130和前毂136可直接由LP转轴124一起围绕纵向轴线101旋转。因此,对于所示实施例,涡扇发动机100可称为“直接驱动”涡扇发动机。然而,在其它实施例中,涡扇发动机100还可包括减速变速箱,以用于相对于LP转轴124在减小的转速下驱动风扇126。

[0149] 在涡扇发动机100各处,涡轮发动机104限定多个管道镜孔146。具体地,对于所示实施例,涡轮发动机104包括限定在压缩机区段、燃烧器区段114和涡轮区段中的一个或多个管道镜孔146。更具体地,进一步,对于所示实施例,涡轮发动机104包括限定在LP压缩机

110、HP压缩机112、燃烧器区段114的燃烧室、HP涡轮116和LP涡轮118中的一个或多个管道镜孔146。管道镜孔146可允许在操作之间检查涡轮发动机104,且更具体地,可通向涡扇发动机100的核心空气流径121,以允许例如在操作之间检查涡扇发动机100的一个或多个叶片、喷嘴或燃烧衬套。相比之下,在正常操作期间,燃烧器区段114和涡轮区段内的管道镜孔146可用管道镜塞(未示出)塞住,使得管道镜孔146不会影响涡扇发动机100的操作。

[0150] 此外,如前文所述,涡扇发动机100示意性地绘制为由清洗系统20的清洗模块24清洁。更具体地,清洗系统20的清洗模块24还包括多个喷洒喷嘴74,该多个喷洒喷嘴74中的每个附接至相应的清洗线58,且构造成至少部分地延伸入或穿过涡扇发动机100的一个管道镜孔146,以将加压清洗液体流的至少一部分提供至涡扇发动机100。更具体地,多个喷洒喷嘴74可在入口108下游的位置处将加压清洗液体流的至少一部分直接地提供至涡轮发动机104的核心空气流径121。应认识到,在某些实施例中,多个喷洒喷嘴74可在例如沿涡扇发动机100的周向方向C间隔开的位置处至少部分地延伸入或穿过涡扇发动机100的管道镜孔146。在此清洗操作期间,此构造可允许涡扇发动机100或更确切地涡轮发动机104的更均匀的清洁。

[0151] 仍参照图12,对于所示实施例,多个喷洒喷嘴74包括压缩机喷洒喷嘴74A,以用于至少部分地延伸入或穿过限定在涡扇发动机100的压缩机区段中的一个管道镜孔146,以及涡轮喷洒喷嘴74B,以用于至少部分地延伸入或穿过涡扇发动机100的涡轮区段中限定的一个管道镜孔146。此外,对于所示实施例中,多个喷洒喷嘴74包括燃烧器区段喷洒喷嘴74C,以用于至少部分地延伸入或穿过燃气涡轮发动机的燃烧器区段114的燃烧室中限定的一个管道镜孔146。

[0152] 更具体地,对于所示实施例,压缩机喷洒喷嘴74A包括多个压缩机喷洒喷嘴74A(定位在涡扇发动机100的第一区域中的管道镜孔146内的第一多个喷洒喷嘴74),其中至少一个喷洒喷嘴74A延伸入或穿过限定在LP压缩机110中的管道镜孔146,以及延伸入或穿过限定在HP压缩机112中的管道镜孔146的至少一个喷洒喷嘴74A。此外,对于所示实施例,涡轮喷洒喷嘴74B包括多个涡轮喷洒喷嘴74B(定位在涡扇发动机100的第二区域中的管道镜孔146内的第二多个喷洒喷嘴74),其中至少一个喷洒喷嘴74B延伸入或穿过限定在HP涡轮116中的管道镜孔146,以及延伸入或穿过限定在LP涡轮118中的管道镜孔146的至少一个喷洒喷嘴74B。

[0153] 此外,清洗模块24还包括入口喷嘴组件82,其流体地连接至多个清洗线58中的一个或多个,以用于将加压清洗液体流的至少一部分经由涡轮发动机104的入口108提供至涡扇发动机100或更确切地涡轮发动机104。如图所示,入口喷嘴组件82包括定位成邻近至涡轮发动机104的入口108的一个或多个入口喷嘴84,以将清洗液体直接地喷洒入和穿过涡轮发动机104的入口108。然而,在其它实施例中,入口喷嘴组件82可改为部分地定位在风扇126前方。

[0154] 仍参照图12,如上文所述,涡扇发动机100包括外机舱138,其限定与涡轮发动机104的旁通通路144。对于所示实施例,多个清洗线58从涡轮发动机104的后端经由旁通通路144延伸至相应多个管道镜孔146的每个,且至入口喷嘴组件82的入口108。利用此构造,清洗系统20可在不必去除风扇区段102的一个或多个部分的情况下操作。更具体地,具有此构造的清洗系统可允许进行清洗操作(即,经由多个清洗线和清洗喷嘴来提供加压清洗液

体),同时允许涡扇发动机例如使用起动机马达或转动工具172来曲柄转动或旋转,以提高清洗操作的有效性。此外,控制器如系统控制器或控制器52可自动地控制发动机核心旋转的速度,以改善清洁性能或防止不需要的清洗流体侵入内部发动机空气回路或其它通路。此外,此控制器可构造成监测马达转矩,例如,以保护变速箱构件。

[0155] 使用根据本文所述的一个或多个示例性实施例的清洗系统可允许燃气涡轮发动机的有效清洁。更具体地,通过将清洗液体直接地提供至燃气涡轮发动机的涡轮发动机的核心空气流径可允许清洗系统向此部分提供加热和加压的清洗液体。相比于之前的构造,其中清洗液体仅设在至涡轮发动机的入口处(在此情况下,此清洗液体可在其例如到达涡轮区段的时间不加热或不加压),将清洗液体直接地提供至例如涡轮发动机的涡轮区段可允许清洗系统将加热和加压的清洗液体提供至此区段。此外,包括将清洗线流体地连接至分配歧管中的泵的独立阀的实施例可允许燃气涡轮发动机的相对精确的清洁和/或燃气涡轮发动机的瞄准清洁。此外,可调整清洁循环的持续时间,可改变清洁泡沫的密度,且可调整清洁循环的其它调节来改善清洁效率。

[0156] 图13绘出了包括用于输送清洁介质的棒的根据示例性实施例的棒系统802。棒系统802是清洗系统的一个示例,其包括用于将清洁介质在外部输送至涡轮发动机的棒。

[0157] 在图13中,绘出了简化图,其示出了喷气发动机812上执行的水清洗操作。在该示例中,水清洗系统或棒802包括一组水喷射喷嘴804,其将水或清洁溶液806流喷入压缩机824的入口中,从而从压缩机824除去累积的污染物且恢复性能水平。在该示例中,棒802包括四个喷射喷嘴,但将认识到,棒可具有任何数目的喷射喷嘴。此外,棒802可包括未示出的附加结构构件。例如,棒802可包括允许用户手持操作的把手,或用于将棒附接至车辆或清洗系统的其它部分的部件。

[0158] 水清洗操作可作为脱机过程执行,由此在喷气发动机未操作时应用水清洗(例如,作为基于地面的操作)。在此方案中,水清洗系统802可为单独的系统,其可为在喷气发动机102在地面时引导至压缩机824的入口的单独机器。作为备选,水清洗操作可作为联机(翼上)过程执行,由此整体结合的水清洗喷射在喷气发动机812的操作期间引导至压缩机824的入口。

[0159] 图14绘出了可由航空运载器、地面系统或航空运载器的其它系统使用来实施根据本公开内容的示例性实施例的方法和系统的示例性计算系统600的框图。如图所示,计算系统600可包括一个或多个计算装置602。一个或多个计算装置602可包括一个或多个处理器604以及一个或多个存储器装置606。一个或多个处理器604可包括任何适合的处理装置,如,微处理器、微控制器、集成电路、逻辑装置或其它适合的处理装置。一个或多个存储器装置606可包括一个或多个计算机可读介质,包括但不限于非暂时性计算机可读介质、RAM、ROM、硬盘驱动器、闪存驱动器或其它存储器装置。

[0160] 一个或多个存储器装置606可存储可由一个或多个处理器604存取的信息,包括可由一个或多个处理器604运行的计算机可读指令608。指令608可为在由一个或多个处理器604运行时引起一个或多个处理器604执行操作的任何指令集。指令608可为以任何适合的编程语言编写的软件,且可在硬件中实施。在一些实施例中,指令608可由一个或多个处理器604运行,以引起一个或多个处理器604执行操作,如,选择发动机清洗类型的操作(如,参照图2和/或图5所述),和/或一个或多个计算装置602的任何其它操作或功能。

[0161] 存储器装置606还可存储可由处理器604存取的数据610。例如,如本文所述,数据610可包括关于发动机性能、发动机健康数据、操作数据、减额历史、环境数据、发动机循环信息等的一个或多个参数。数据610可包括用于根据本公开内容的示例性实施例来选择发动机清洗类型的一个或多个表格、功能、算法、模型、等式等。

[0162] 一个或多个计算装置602还可包括用于例如与系统的其它构件通信的通信接口612。通信接口612可包括用于与一个或多个网络对接的任何适合的构件,例如,包括发射器、接收器、端口、控制器、天线或其它适合的构件。

[0163] 本文所述的技术参照了基于计算机的系统,以及由基于计算机的系统采取的动作和发送至和自其的信息。本领域的普通技术人员将认识到,基于计算机的系统的固有灵活性允许了构件之间和其中的任务和功能的多种可能构造、组合和划分。例如,本文所述的过程可使用单个计算装置或组合工作的多个计算装置来实施。数据库、存储器、指令和应用可在单个系统上实施或跨过多个系统分布。分布式构件可按顺序或并行操作。

[0164] 尽管各种实施例的特定特征可在一些图中示出且在其它图中未示出,但这仅是为了方便。根据本公开内容的原理,可与任何其它图的任何特征组合来参照和/或请求保护。

[0165] 本书面描述使用了示例来公开请求保护的主体,包括最佳模式,且还使本领域的任何技术人员能够实践请求保护的主体,包括制作和使用任何装置或系统,以及执行任何并入的方法。公开的技术的专利范围由权利要求限定,且可包括本领域的技术人员想到的其它示例。如果此类其它示例包括并非不同于权利要求的书面语言的结构元件,或如果它们包括与权利要求的书面语言无实质差别的等同结构元件,则期望此类其它示例在权利要求的范围内。

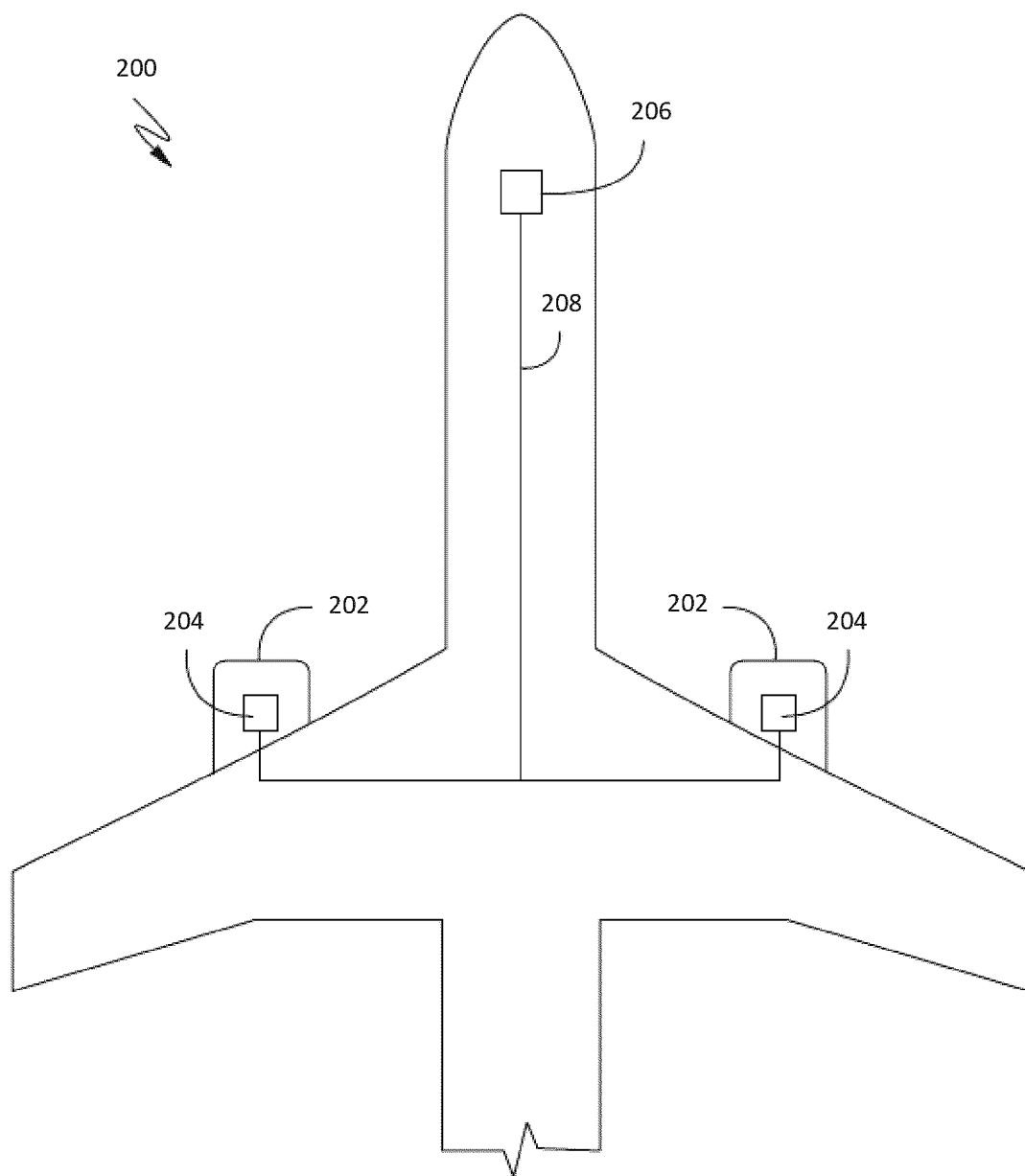


图 1

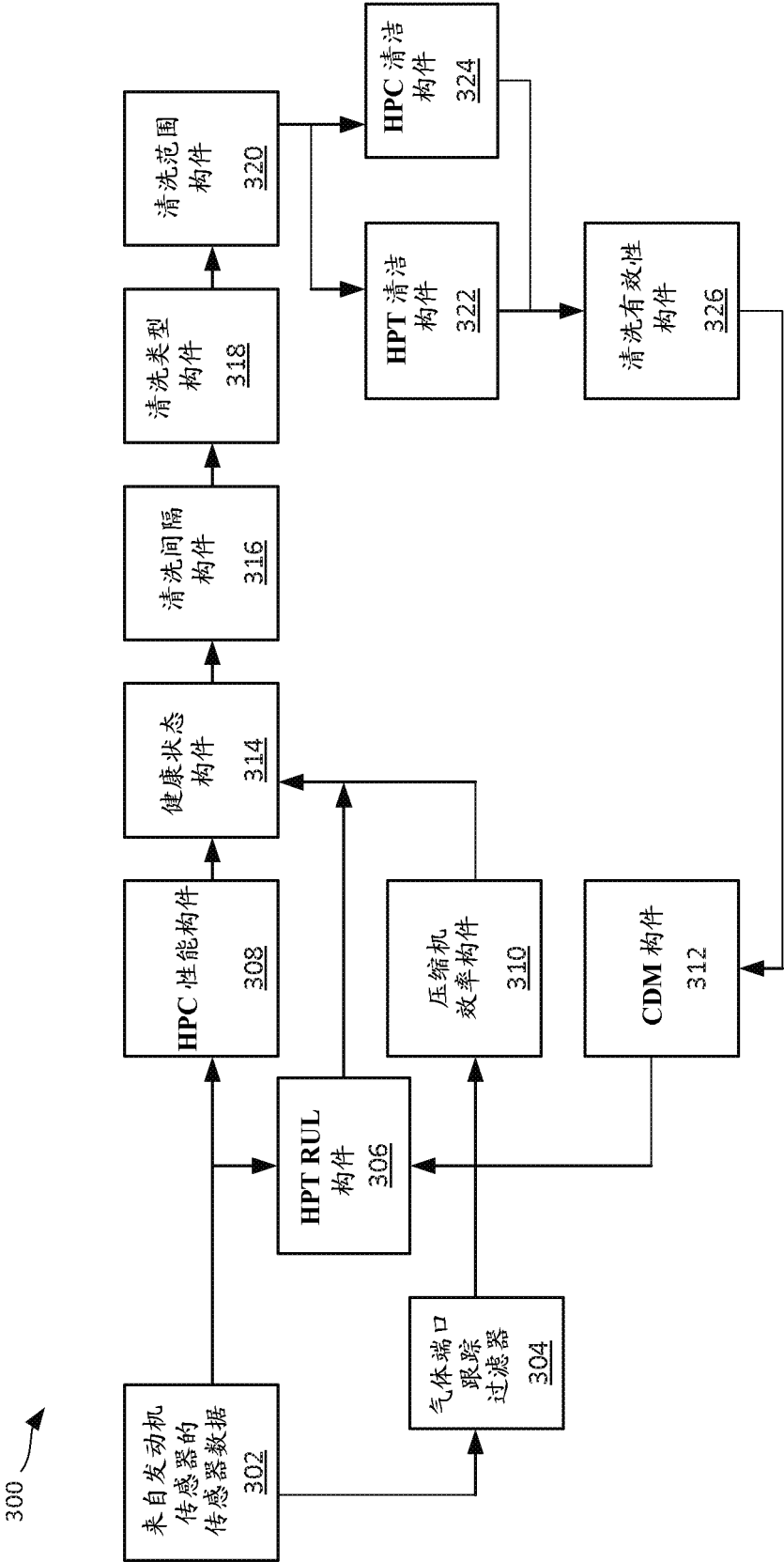


图 2

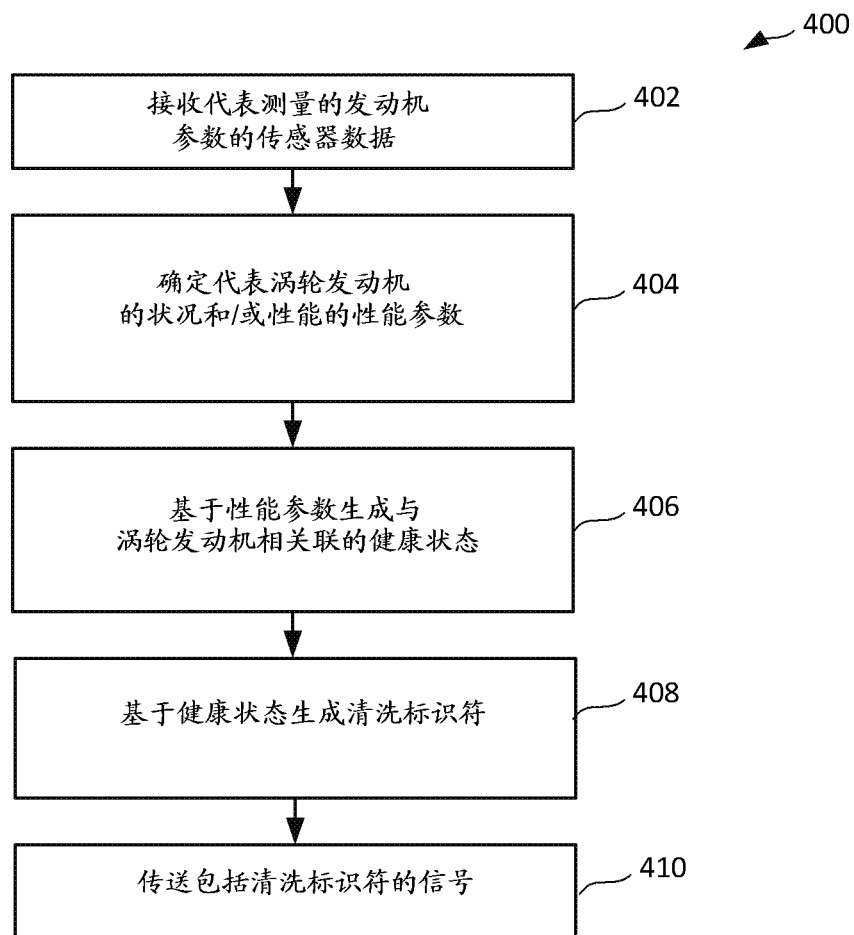


图 3

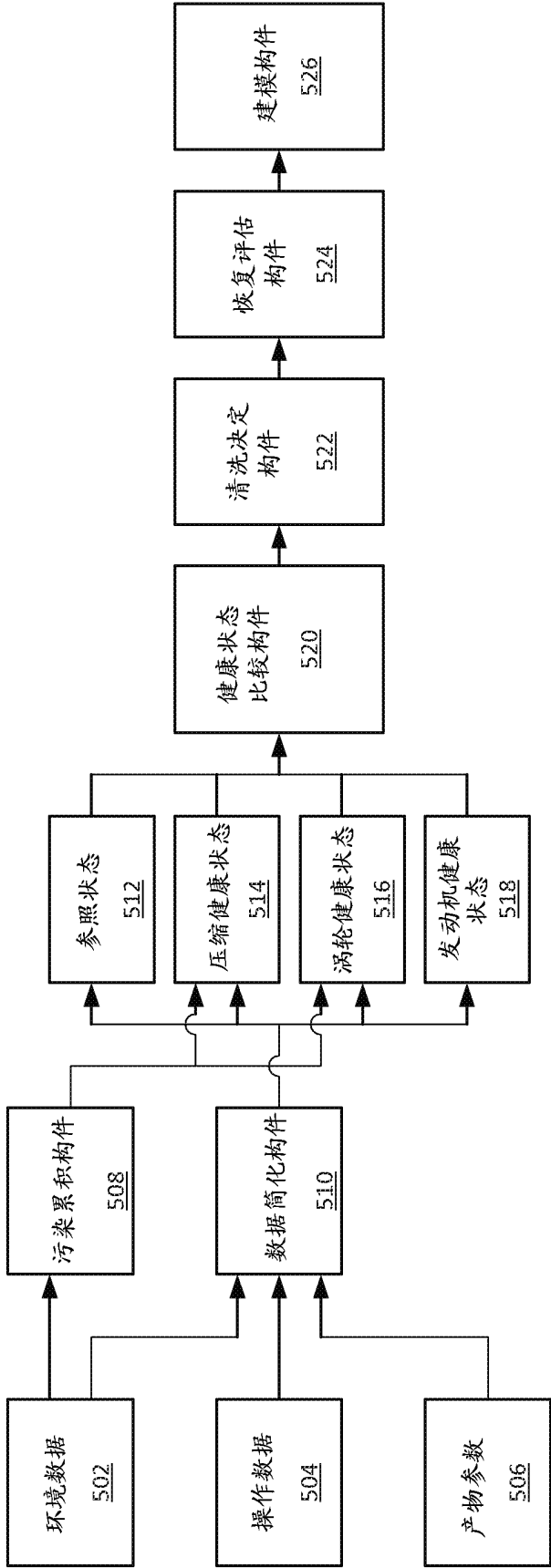


图 4

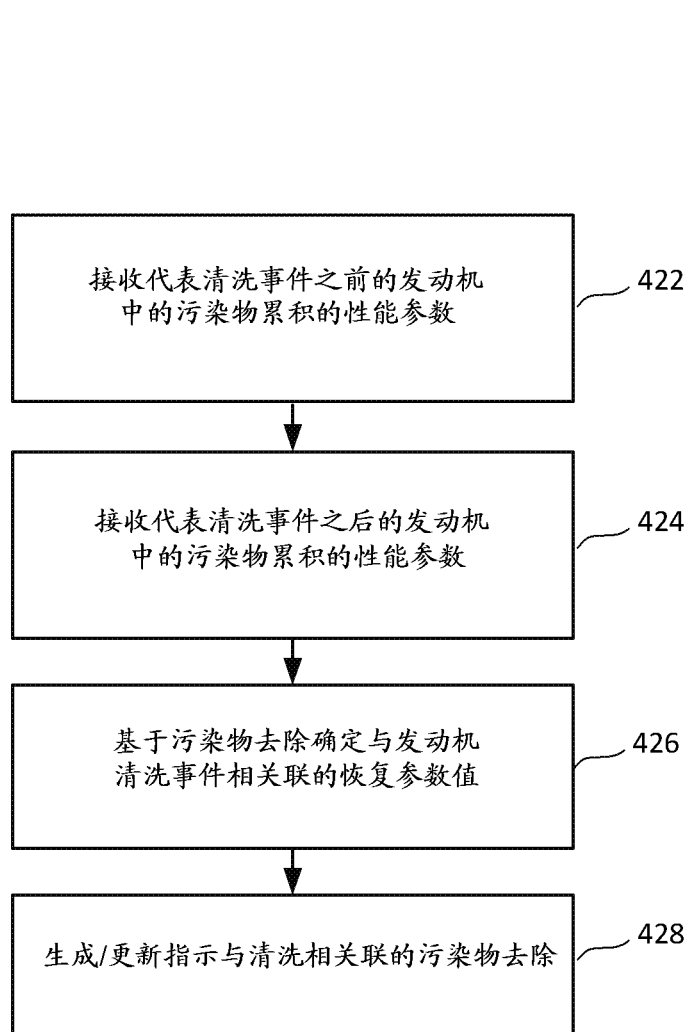


图 5

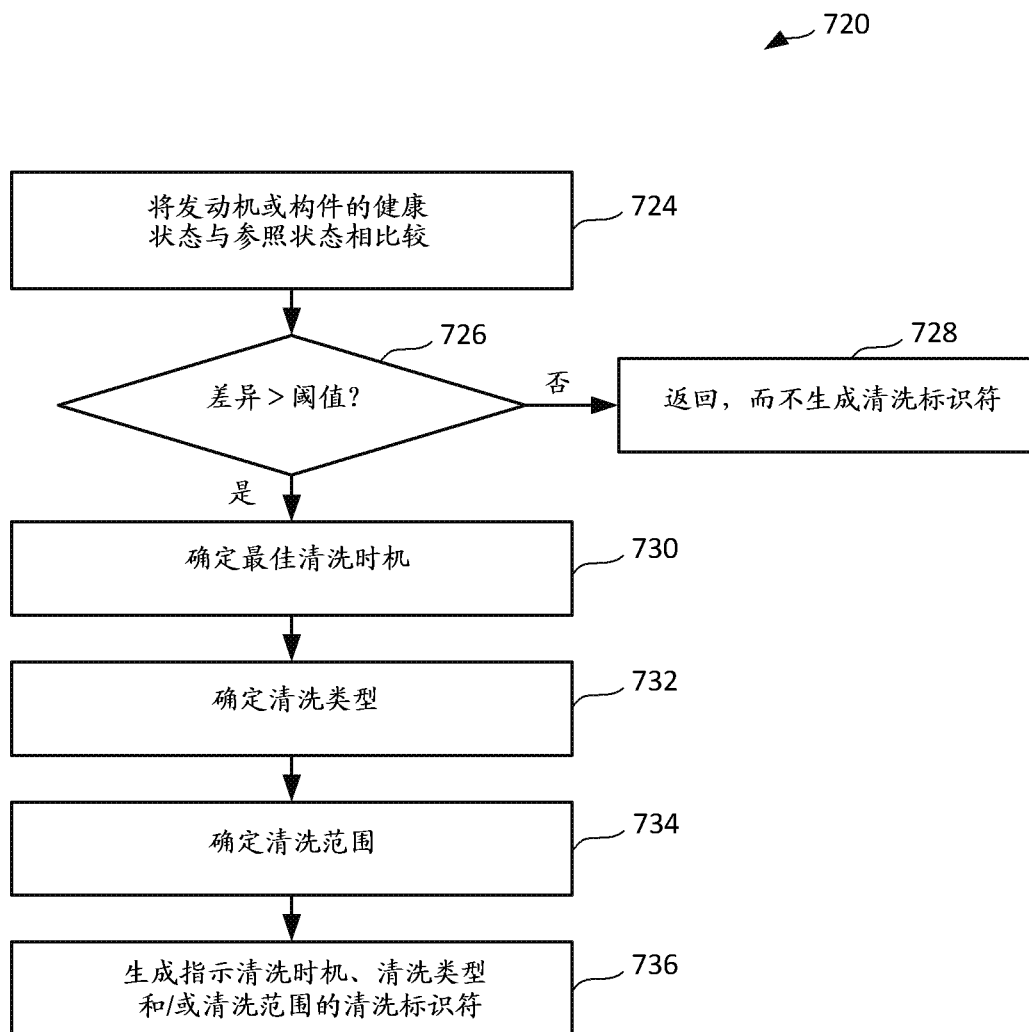


图 6

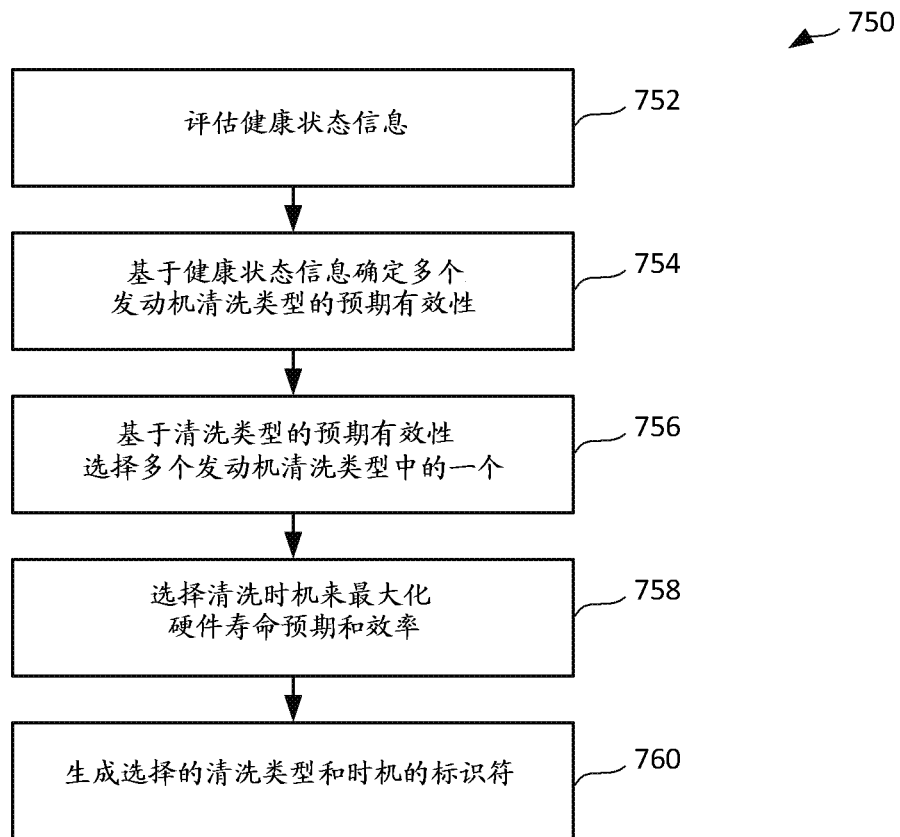


图 7

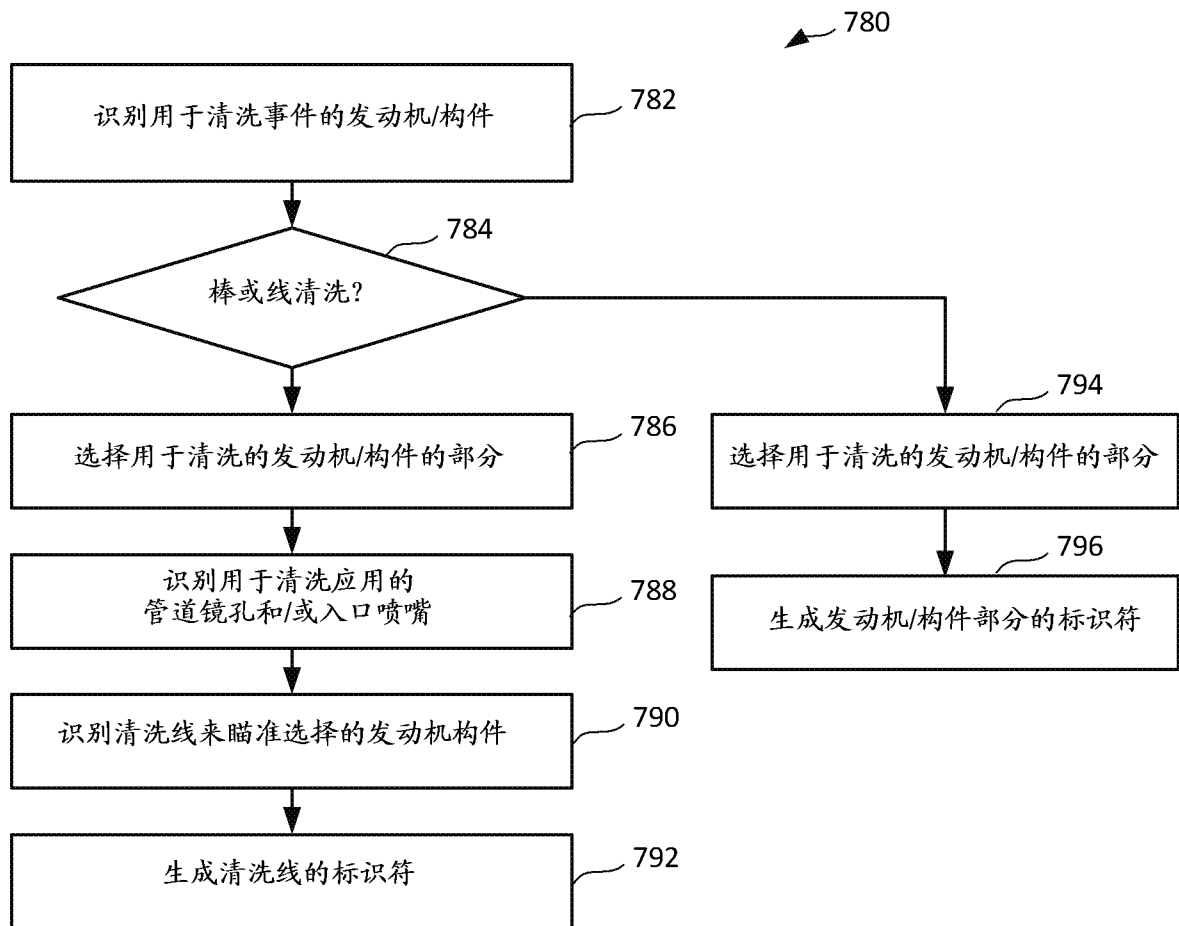


图 8

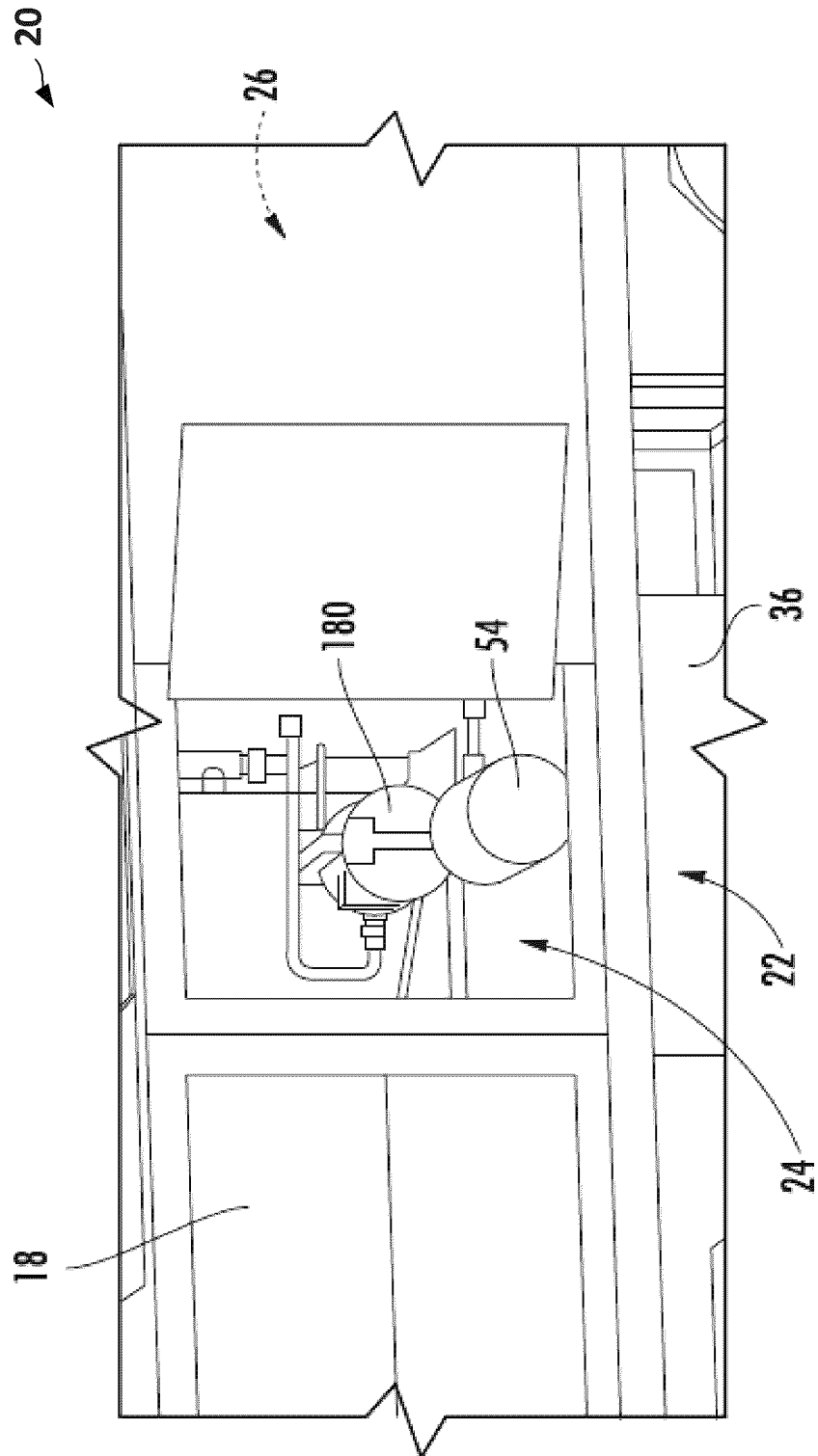


图 9

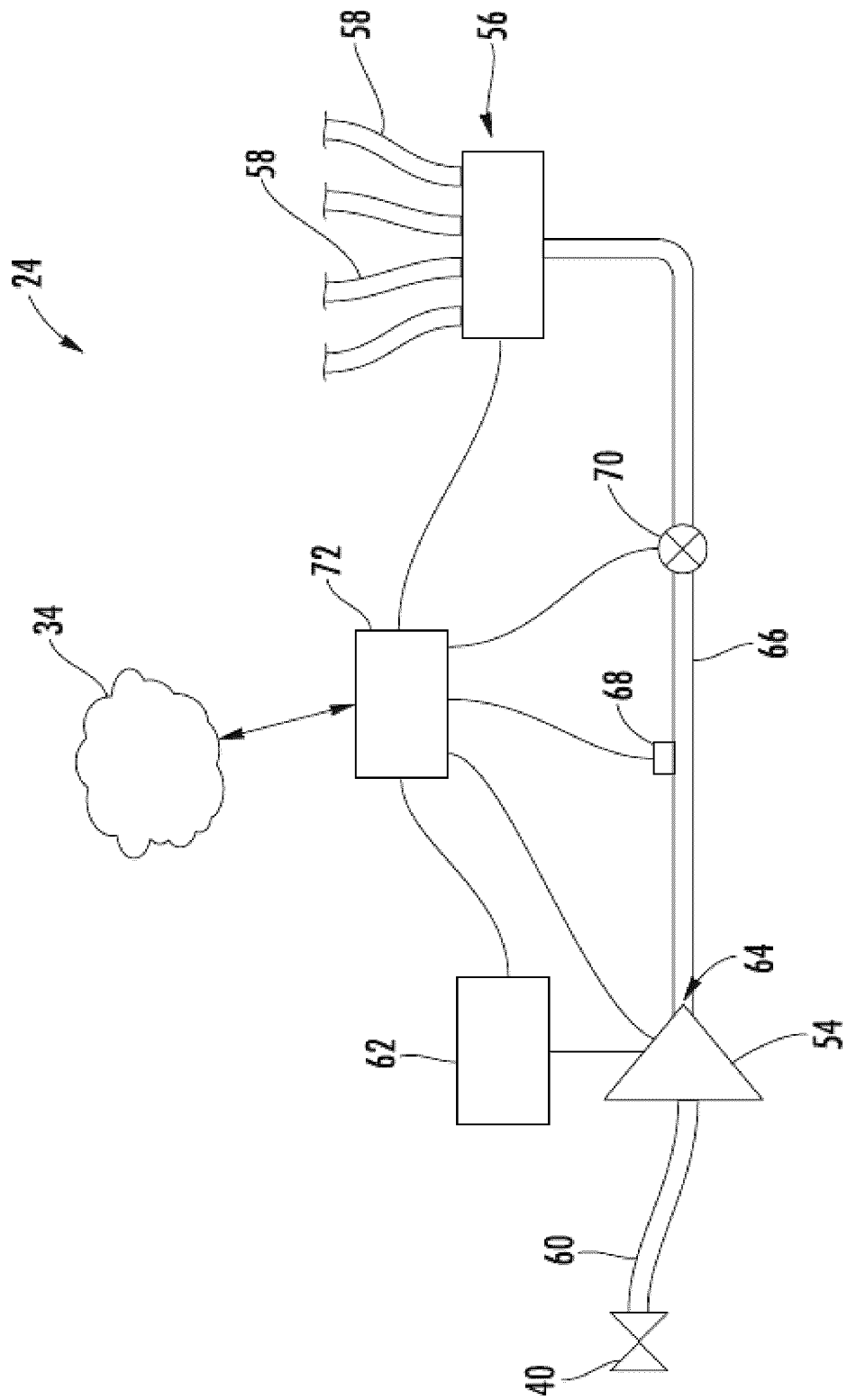


图 10

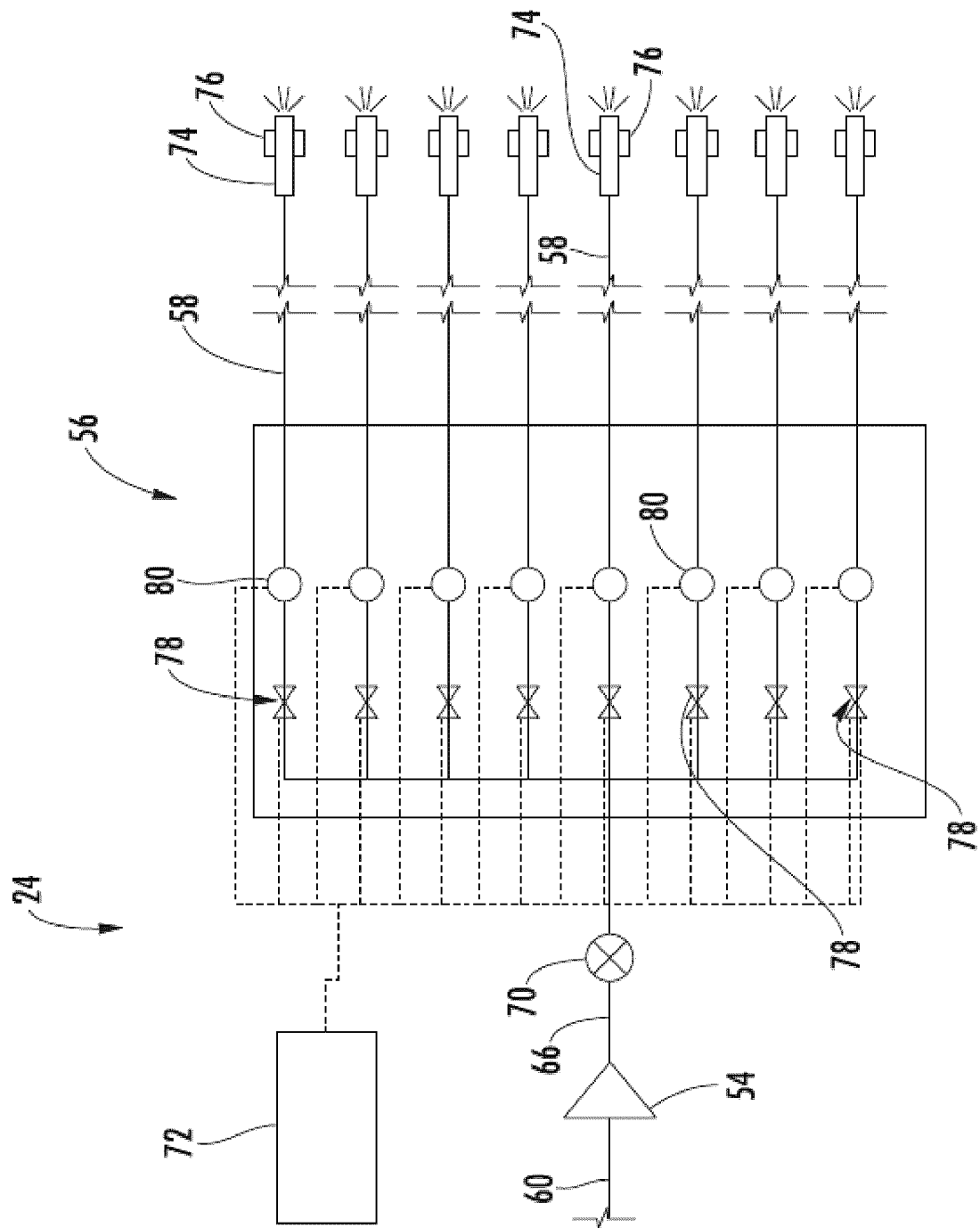


图 11

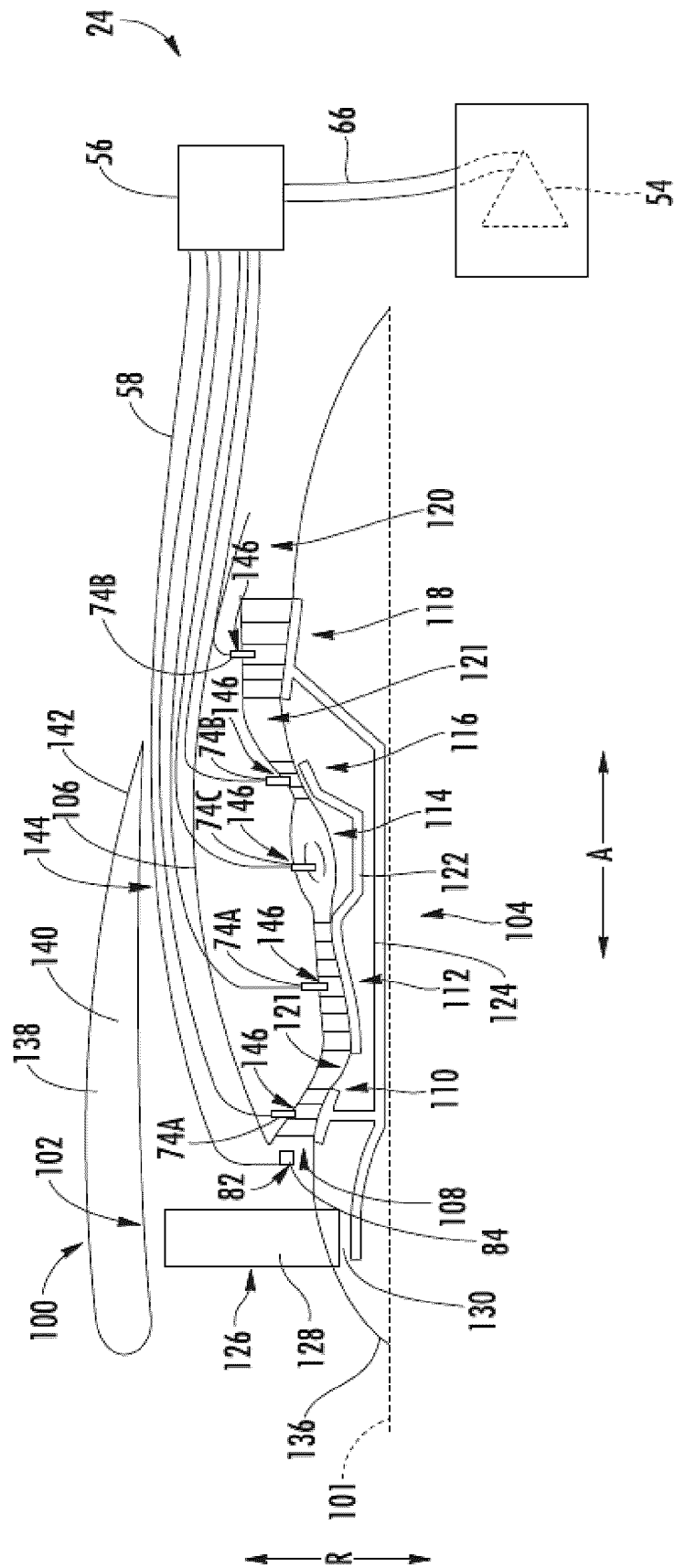


图 12

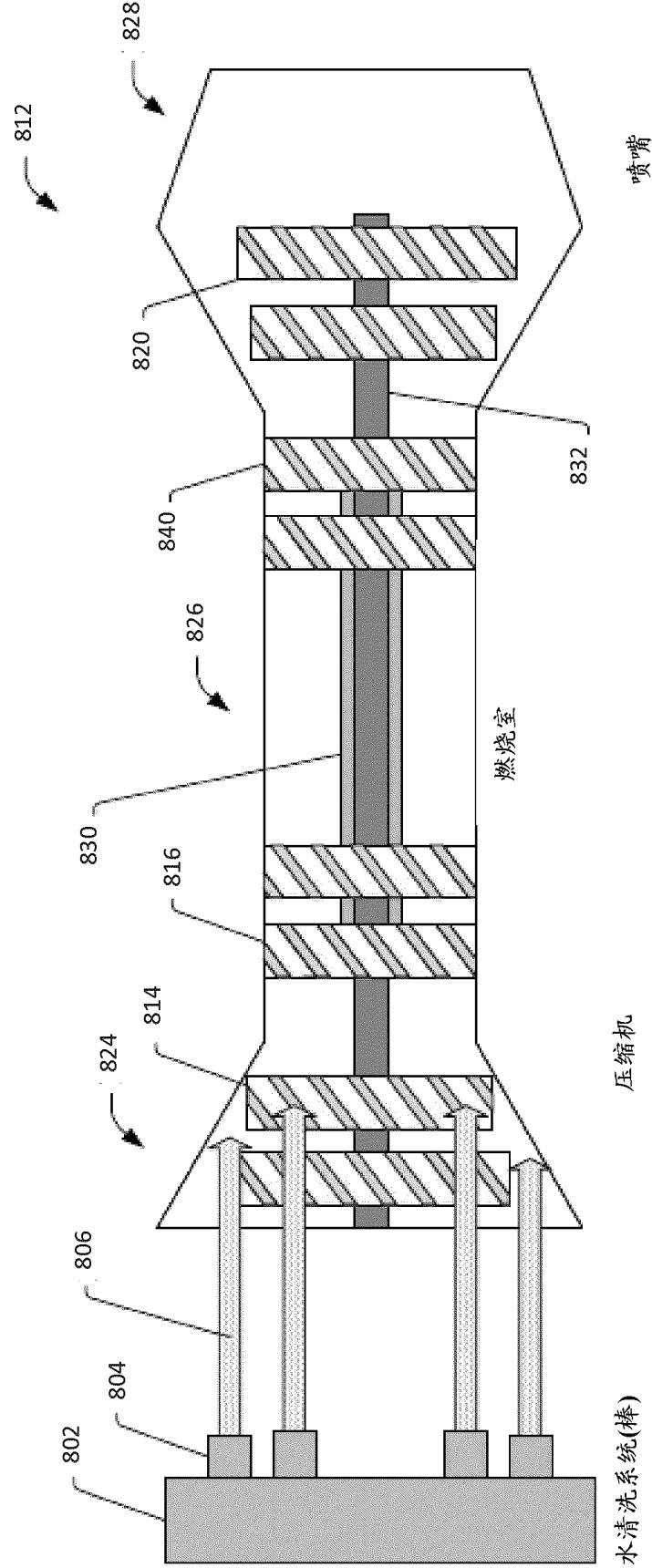


图 13

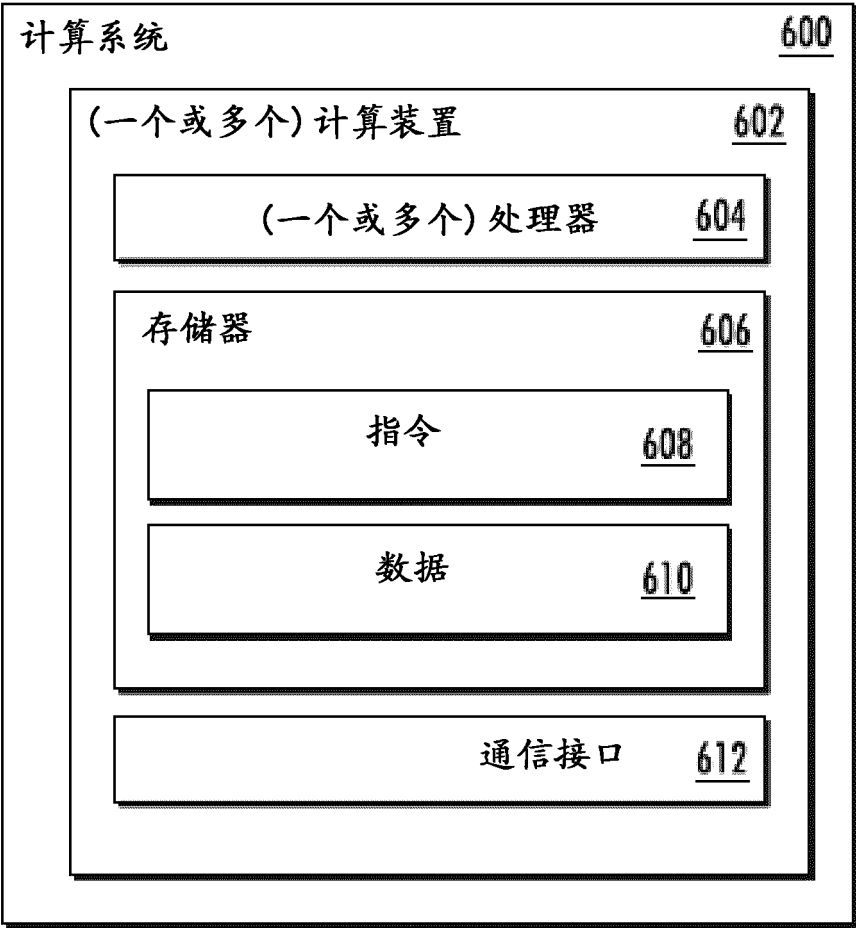


图 14