



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101858826 A

(43) 申请公布日 2010. 10. 13

(21) 申请号 201010165202. 3

(22) 申请日 2010. 04. 08

(30) 优先权数据

12/421260 2009. 04. 09 US

(71) 申请人 通用电气公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 M·C·马札罗 M·E·格拉哈姆

H·K·小马修斯 K·T·马卡锡

D·布里斯达勒 D·阿罗拉

M·W·阿哈米 A·E·特雷乔

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公

司 72001

代理人 肖日松 刘华联

(51) Int. Cl.

G01M 15/04(2006. 01)

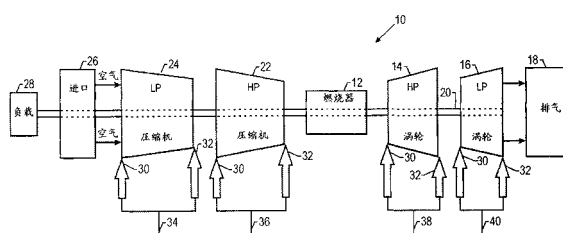
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 2 页

(54) 发明名称

用于监测涡轮发动机的健康的系统和方法

(57) 摘要

本发明涉及用于监测涡轮发动机的健康的系统和方法。该方法包括监测具有多个发动机模块的涡轮发动机和基于多个发动机参数确定一个或多个发动机模块的一个或多个健康估计,该健康估计可包括趋势数据。该方法还包括确定和传送指示将对涡轮发动机进行修理的适合通知。



1. 一种用于计划发动机修理的方法,其包括:
监测具有多个发动机模块的涡轮发动机;
基于多个发动机参数确定一个或更多个所述发动机模块的一个或更多个发动机模块健康估计,其中,所述一个或更多个健康估计包括趋势数据;
基于所述健康估计确定所述发动机模块的故障类型;以及
修正具体的故障类型。
2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,确定故障类型包括预测模块和传感器的故障。
3. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,所述方法包括利用专家分析工具预测所述模块和传感器的故障并传送所述故障的通知,用于修正具体的故障类型。
4. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述发动机参数包括与所述涡轮发动机相关的排出气体温度、转子速度、涡轮温度、发动机压力、气体温度、发动机燃料流量、核心速度、压缩机排出压力或涡轮排气压力中的至少一个。
5. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述一个或更多个发动机模块健康估计包括与所述涡轮发动机相关的燃烧器流量、燃烧器效率、HP 压缩机流量、HP 压缩机效率、LP 压缩机流量、LP 压缩机效率、HP 涡轮流量函数、HP 涡轮效率、LP 涡轮流量函数或 LP 涡轮效率中的至少一个。
6. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,确定一个或更多个发动机模块健康估计包括确定所述涡轮发动机的一个或更多个所述发动机模块的期望的发动机模块的性能水平。
7. 一种用于监测发动机的系统,其包括:
发动机健康估计器,其构造成基于多个发动机参数确定所述发动机的一个或更多个模块的一个或更多个健康估计,其中,所述一个或更多个健康估计包括趋势数据;和
涡轮分析器,其构造成分析所述一个或更多个健康估计,以确定所述发动机模块的故障类型。
8. 一种涡轮系统,其包括:
一个或更多个发动机模块;
一个或更多个传感器,其适合于测量所述一个或更多个发动机模块的发动机参数;
发动机健康估计器,其构造成基于测量的发动机参数确定所述一个或更多个发动机模块的一个或更多个健康估计,其中,所述一个或更多个健康估计包括趋势数据;以及
涡轮分析器,其构造成分析所述一个或更多个健康估计,以确定所述发动机模块的故障类型。
9. 根据权利要求8所述的系统,其特征在于,所述涡轮分析器包括构造成包含以峰值效率工作的所述涡轮发动机的经验模型的发动机模块。
10. 根据权利要求9所述的系统,其特征在于,所述涡轮分析器包括分析工具,其构造成基于所述发动机模块和所述一个或更多个健康估计预测所述发动机模块的故障和所述传感器的故障。

用于监测涡轮发动机的健康的系统和方法

技术领域

[0001] 本发明大体上涉及燃气涡轮发动机,更具体地涉及用于监测涡轮发动机的健康(health)的系统和方法。本发明还涉及航空衍生品的基于模型的健康监测、对传感器故障的稳定性和成型。

[0002] 背景技术

[0003] 当燃气涡轮发动机操作时,发动机效率和性能可随着时间恶化。这种性能的退化可起因于诸如发动机磨损或者发动机构件损坏的多种因素。这种性能退化的测量可用于确定应在涡轮发动机上执行哪种类型的维护以使发动机恢复到其初始的操作效率。然而,错误的涡轮性能的读数可由涡轮性能测量装置的故障产生。这些涡轮性能测量装置的故障可导致产生错误的涡轮性能数据,其可导致对涡轮的不必要的维护。此外,用于测量发动机性能的现有技术对设置和执行来说是令人厌烦的,并且仅提供有限的的数据。因此,需要减少错误的效率读数以及产生更多可靠的效率读数的改进的诊断系统和方法。

发明内容

[0004] 在一个实施例中,提供用于计划发动机修理的方法。该方法包括监测具有多个发动机模块的涡轮发动机和基于多个发动机参数确定一个或更多个发动机模块的一个或更多个发动机模块健康估计,其中一个或更多个健康估计包括趋势数据。该方法还包括基于健康估计确定发动机模块的故障类型和修正具体的故障类型。

[0005] 在另一个实施例中,提供用于监测发动机的系统。该系统包括发动机健康估计器,其构造成基于多个发动机参数确定一个或更多个发动机模块的一个或更多个健康估计,其中一个或更多个健康估计包括趋势数据。该系统还包括涡轮分析器,其构造成分析一个或更多个健康估计以确定发动机模块的故障类型。

[0006] 此外,提供涡轮系统。该涡轮系统包括适合于产生旋转运动的一个或更多个发动机模块。该涡轮系统还包括适合于测量一个或更多个发动机模块的发动机参数的一个或更多个传感器。此外,该涡轮系统包括发动机健康估计器,其构造成基于测量的发动机参数确定一个或更多个发动机模块的一个或更多个健康估计,其中一个或更多个健康估计包括趋势数据。最后,该涡轮系统包括涡轮分析器,其构造成分析一个或更多个健康估计以确定发动机模块的故障类型。

附图说明

[0007] 当参考附图阅读下列详细说明时,本发明的这些和其它特征、方面和优点将变得更易理解,在整个附图中相同的符号表示相同的部件,其中:

[0008] 图 1 是根据本技术的实施例的涡轮系统的框图;

[0009] 图 2 是用于监测图 1 涡轮系统的健康的健康分析构件的框图;以及

[0010] 图 3 是示出图 1 涡轮系统的健康监测的流程图。

具体实施方式

[0011] 下面论述涡轮发动机的健康监测。对应于涡轮发动机的模块的发动机参数可被监测和测量。然后,这些测量值可合并成各个发动机模块的趋势。该趋势可与可包括表示各个模块的正确操作水平的模型数值的发动机模型比较。基于测量的与模型数值的数值偏差,专家工具可预测可导致该偏差的问题类型。该专家工具还可产生可被传送到工作站的建议,该工作站可允许经由特定修理对导致该偏差的问题进行有效校正。通过这种方式,以低于可接受的性能水平操作的涡轮发动机可通过修正根源问题的方式修理。

[0012] 现在转到附图并首先参考图 1,示出了涡轮系统 10 的实施例的框图。涡轮系统 10 可例如由 Ohio, Evendale 的 General Electric Company 以标识 LM6000 制造。如图所示,涡轮系统 10 可包括燃烧器 12。燃烧器 12 可接收已与空气混合的燃料,用于在燃烧器 12 内的腔室中燃烧。这种燃烧产生热的增压的排出气体。燃烧器 12 引导排出气体通过高压 (HP) 涡轮 14 和低压 (LP) 涡轮 16 朝向排气口 18。HP 涡轮 14 可以是 HP 转子的一部分。类似地,LP 涡轮 16 可以是 LP 转子的一部分。当排出气体通过 HP 涡轮 14 和 LP 涡轮 16 时,气体迫使涡轮叶片沿着涡轮系统 10 的轴线旋转驱动轴 20。如图所示,驱动轴 20 连接到涡轮系统 10 的多个构件,包括 HP 压缩机 22 和 LP 压缩机 24。

[0013] 驱动轴 20 可包括可以是例如同心对齐的一个或更多个轴。驱动轴 20 可包括将 HP 涡轮 14 连接到 HP 压缩机 22 以形成 HP 转子的轴。HP 压缩机 22 可包括联接到驱动轴 20 的叶片。因此,HP 涡轮 14 中的涡轮叶片的旋转致使将 HP 涡轮 14 连接到 HP 压缩机 22 的轴旋转 HP 压缩机 22 内的叶片。这使空气在 HP 压缩机 22 中压缩。类似地,驱动轴 20 包括将 LP 涡轮 16 连接到 LP 压缩机 24 以形成 LP 转子的轴。LP 压缩机 24 包括联接到驱动轴 20 的叶片。因此,LP 涡轮 16 中的涡轮叶片的旋转致使将 LP 涡轮 16 连接到 LP 压缩机 24 的轴旋转 LP 压缩机 24 内的叶片。HP 压缩机 22 和 LP 压缩机 24 中的叶片的旋转压缩经由空气进口 26 接收的空气。压缩空气供应到燃烧器 12 并与燃料混合以允许较高效率的燃烧。因此,涡轮系统 10 可包括双重同心轴系布置,其中,LP 涡轮 16 通过驱动轴 20 中的第一轴驱动地连接到 LP 压缩机 24,而 HP 涡轮 14 通过驱动轴 20 中的在第一轴的内部并与第一轴同心的第二轴类似地驱动地连接到 HP 压缩机 22。轴 20 还可连接到负载 28,其可是车辆或诸如电厂中的发电机或飞行器上的推进器的固定负载。负载 28 可以是由涡轮系统 10 的旋转输出提供能量的任何合适的装置。

[0014] 发动机涡轮系统 10 还可包括多个传感器,其构造成监测与涡轮系统 10 的操作和性能相关的多个发动机参数。传感器可包括例如进口传感器 30 和出口传感器 32,其例如分别邻近 HP 涡轮 14、LP 涡轮 16、HP 压缩机 22 和 / 或 LP 压缩机 24 的进口和出口部分布置。进口传感器 30 和出口传感器 32 例如可测量诸如周围温度和周围压力的环境条件以及与涡轮系统 10 的操作和性能相关的多个发动机参数,诸如排出气体温度、转子速度、发动机温度、发动机压力、气体温度、发动机燃料流量、核心速度、压缩机排出压力和涡轮排气压力。多个传感器 30 和 32 还可构造成监测与涡轮系统 10 的多种操作阶段相关的发动机参数。由多个传感器 30 和 32 获取的测量值可经由模块线路 34-40 传送。例如,模块线路 34 可用于传送来自 LP 压缩机 24 的测量值,而模块线路 36 可用于传送来自 HP 压缩机 22 的测量值。通过类似的方式,模块线路 38 可用于传送来自 HP 涡轮 14 的测量值,而模块线路 40 可用于传送来自 LP 涡轮 16 的测量值。因此,模块线路 34-40 可传送来自涡轮系统 10 的单

独模块的测量值。

[0015] 图 2 示出可与涡轮系统 10 一起使用的健康分析构件 42。健康分析构件 42 可包括涡轮分析器 46 的健康估计器 44、涡轮分析器 46 的发动机模型 48、专家分析工具 50 和工作站 52。健康估计器 44 经由模块线路 34-40 从涡轮系统 10 的模块接收测量值。这些测量值可通过健康估计器 44 记录和 / 或处理,该健康估计器 44 可位于涡轮系统 10 的外部。通过这种方式,健康估计器 44 基于经由模块线路 34-40 传送的测量值确定涡轮系统 10 的一个或更多个模块的一个或更多个具体的模块健康估计。该测量值可包括例如表示涡轮系统 10 的燃烧器流量、燃烧器效率、HP 压缩机流量、HP 压缩机效率、LP 压缩机流量、LP 压缩机效率、HP 涡轮流量、HP 涡轮效率、LP 涡轮流量和 LP 涡轮效率的数据。

[0016] 在一个实施例中,健康估计器 44 还可利用诸如卡尔曼 (Kalman) 滤波、跟踪滤波、回归映射、中性映射、反演模型技术或它们的组合的参数标识技术。滤波可通过改进的卡尔曼滤波器、扩展的卡尔曼滤波器、或其它滤波算法或可替换的方法执行,滤波可通过比例积分调节器或其它形式的矩形 (n - 输入, n - 输出) 或非矩形 (n - 输入, m - 输出) 调节器执行。参数标识技术还可包括基于从涡轮系统 10 的模块接收的测量值产生涡轮系统 10 的瞬时模型。因此,健康估计器 44 可求解涡轮系统 10 的瞬时条件以产生涡轮系统 10 的初始模型。

[0017] 此外,健康估计器 44 可例如连续地或以给定的采样率接收对应于模块测量值的数据。该采样率例如可以是每分钟一次采样。不管数据是否连续地或以给定的采样率被接收,接收到的数据可用于分析涡轮系统 10 的健康。例如,基于对应于涡轮系统 10 中的模块故障或退化的意外接收到的数据值可发出自动通知和 / 或警报。此外,这种接收到的数据可用于计算模块的操作趋势。例如,接收到的数据可与以前接收到的数据综合分析以更新涡轮系统 10 的已产生的模型。通过这种方式,可记录涡轮系统 10 的模块的趋势或随着时间的变化,用于进行分析。

[0018] 例如,健康估计器 44 可将 HP 涡轮的健康表示为 HP 涡轮叶片健康、HP 涡轮转子健康和 HP 涡轮喷嘴健康的函数。在另一个例子中,HP 涡轮叶片的健康可通过健康估计器 44 表示为叶片尖端摩擦和叶片蠕变的函数。如上所述,随着时间的测量值可合并成用于 HP 涡轮构件的趋势。健康估计器 44 可通过这种方式监测涡轮系统 10 的模块的健康状态。

[0019] 涡轮系统 10 的模块的健康状态可传送到涡轮分析器 46。涡轮分析器 46 可评价涡轮系统 10 的一个或更多个模块的健康状态。在一个实例中,涡轮分析器 46 可利用例如基于物理的模型、数据拟合模型 (诸如回归模型或神经网络模型)、基于规则的模型和 / 或经验模型,以评价从健康估计器 44 接收的一个或更多个模块的健康状态。基于物理的模型 (由此,涡轮系统 10 的各个模块单独建模) 可用于使涡轮性能退化参数与物理损耗或用途相关。因此,涡轮系统 10 的具体模块的性能随着时间的变化,即模块趋势,可与涡轮分析器 46 的发动机模型 48 进行比较,以便发动机模型 48 可结合如预期起作用的涡轮系统 10 的经验模型。因此,发动机模型 48 可提供基线,涡轮系统 10 的模块的健康状态可从该基线起进行测量。因此,在一个实施例中,确定期望的修理水平包括确定需要实现与发动机模型 48 相关的期望的发动机性能水平的修理程度。发动机模型 48 还可构造成包括基于多个最优化准则的发动机模型需要的修理水平的最优值。最优化准则可包括例如与发动机修理 / 检修和 / 或执行该修理的费用相关的寿命周期成本的总量。

[0020] 涡轮分析器 46 可将任何已产生的结果传送到分析工具 50。分析工具 50 可以是可

分析模块趋势的结果的专家分析工具。这些趋势和 / 或趋势的结合可被分析工具 50 利用, 以确定涡轮系统 10 的模块的健康以及发生在涡轮系统 10 中的故障类型。例如, HP 压缩机模块可随着时间损失效率。基于 HP 压缩机模块的趋势与例如来自于发动机模型 48 的 HP 压缩机模块的效率的比较, 分析工具 50 可确定 HP 压缩机 22 的效率是否正受到肮脏叶片的影响。因此, 消息可传送到工作站 52, 以指示应清洗 HP 压缩机 22。在一个实施例中, 分析工具 50 可以是一个或更多个查找图表, 其可以是储存在诸如磁盘驱动器或存储器的机器可读介质上的计算机程序的一部分。可选地, 分析工具 50 可以是集成电路的一部分。

[0021] 分析工具 50 可编程以包括警报、修理通知和 / 或传感器或模块故障的通知。基于从健康分析器 44 传送的结果与发动机模型 48 之间的差异, 这些编程在分析工具 50 内的不同结果可表示涡轮系统 10 的预测的故障类型的编程响应。分析工具 50 还可在涡轮系统 10 的寿命期间更新, 以根据涡轮系统 10 的趋势调整分析工具 50 的预测算法。

[0022] 如上所述, 当分析工具 50 将预测算法应用到来自健康估计器 44 的接收到的数据时, 诸如故障通知、警报和 / 或修理通知的结果可发出并传送到工作站 52。工作站 52 可物理地联接到涡轮分析器 46。可选地, 工作站 52 可无线地连接到涡轮分析器。在另一个实施例中, 工作站 52 可例如经由局域网或互联网连接在线地远程访问涡轮分析器。工作站 52 可从涡轮分析器 46 接收修理通知、警报和 / 或故障通知。基于这些接收到的数值, 涡轮系统 10 的一个或更多个模块的期望的修理水平可被执行。例如, 基于多个最优化准则, 模块需要的修理水平的最优值可被编程到分析工具 50 中, 以便可改进整体的涡轮系统 10 的效率和性能。例如, 如果估计 LP 压缩机 24 的效率退化趋势在 5000 个使用小时之后为 5%, 那么工作站 52 可接收列出使 LP 压缩机 24 的效率恢复大约 5% 所必需的预测修理的修理通知。这允许涡轮系统 10 的修理被有效地执行。例如, 如果通过分析工具 50 发现 HP 涡轮 14 模块的确定的健康估计正常, 那么可不执行对 HP 涡轮 14 的修理, 即使涡轮系统 10 的其它模块需要修理。换句话说, 工作站 52 可接收与需要注意的涡轮模块 10 的部分有关的信息, 因此减少不必要的修理。

[0023] 图 3 示出可用于确定是否有必要对涡轮系统 10 进行任何修理的工艺步骤。在步骤 54 中, 通过传感器 30 和 32 获取关于涡轮系统 10 的模块的操作参数的测量值。在步骤 56 中将这些测量值传送到健康估计器 44。基于接收到的测量值, 在步骤 58 中产生涡轮系统 10 的模块操作的估计。然后在步骤 60 中将这些估计传送到涡轮分析器 46。该分析可包括利用诸如专家工具的分析工具 50 将估计与发动机模块 48 相比较。基于该比较, 在步骤 62 中可产生关于可发送到工作站 52 或发送到例如涡轮系统 10 的控制器 10 的任何修理或通知的预测。基于从涡轮分析器 46 接收到的通知, 可完成对涡轮系统 10 的指定修理。这些指定的修理或者修正可包括传感器 30 和 / 或 32 的修理或者涡轮系统 10 的一个或更多个模块的修理。这些修正可响应于接收到的通知自动完成, 例如, 联接到涡轮系统 10 的控制器可接收该通知并且可执行诸如减少流入燃烧器 12 的燃料或开启压缩机 22 和 24 中的一个或两个的再循环阀以释放过度压力的修正步骤。该修正也可被分析用于随后执行, 诸如将由例如使用者调整的误置传感器的指示。

[0024] 尽管本文已经阐述和说明了本发明的仅仅某些特征, 但是对本领域技术人员将发生许多修改和变化。因此, 应当理解的是, 所附权利要求意图涵盖所有这些属于本发明的真正精神内的修改和变化。

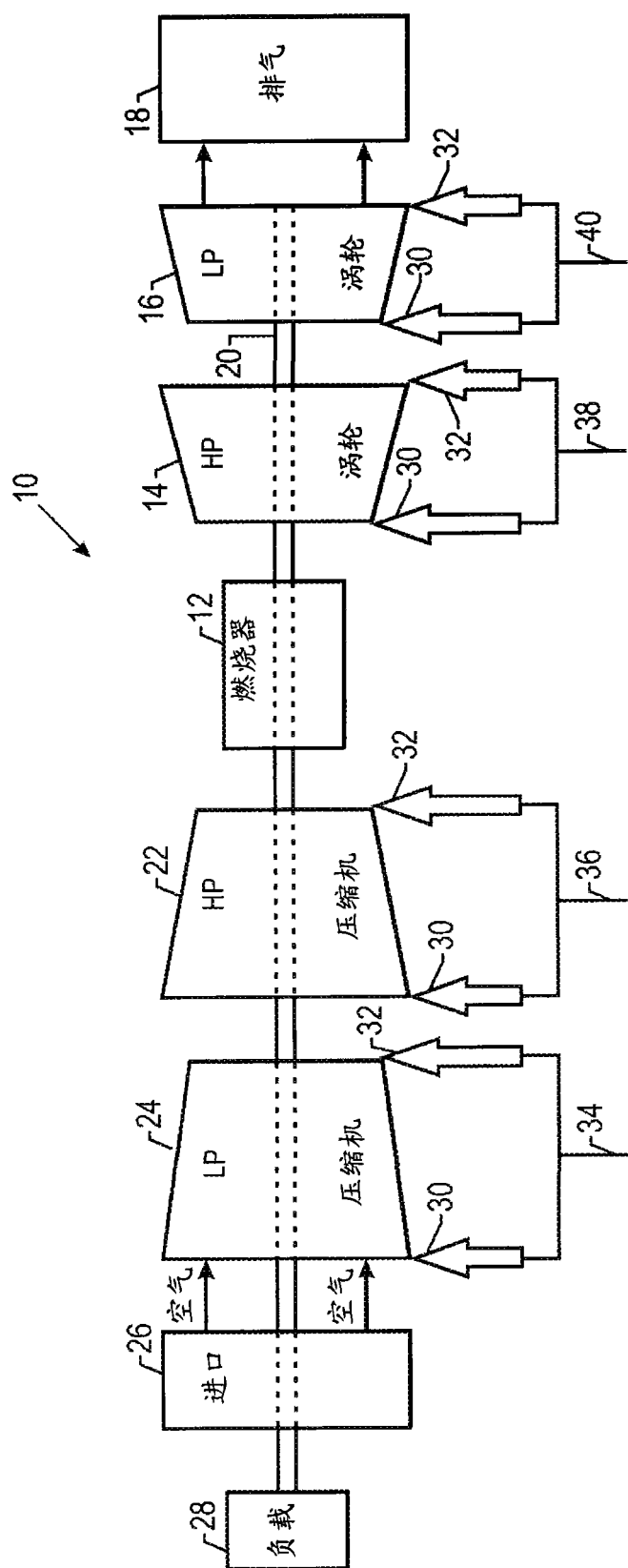


图 1

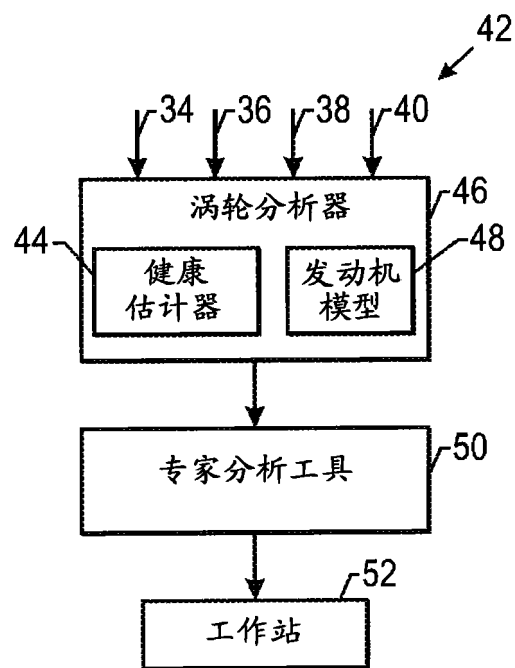


图 2

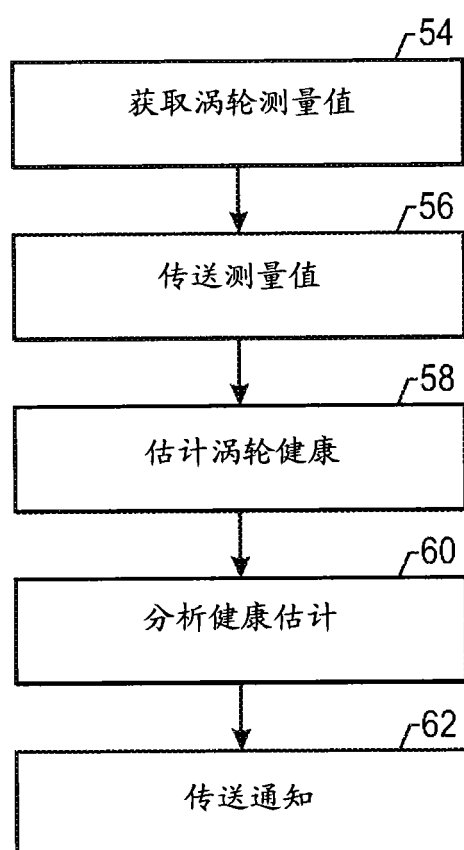


图 3