

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102374033 A

(43) 申请公布日 2012. 03. 14

(21) 申请号 201110238832. 3

F02C 9/28(2006. 01)

(22) 申请日 2011. 08. 11

(30) 优先权数据

12/854361 2010. 08. 11 US

(71) 申请人 通用电气公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 S. 拉比埃 G.O. 克雷默

G.D. 迈尔斯

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公

司 72001

代理人 朱铁宏 谭祐祥

(51) Int. Cl.

F02C 9/00(2006. 01)

F02C 9/20(2006. 01)

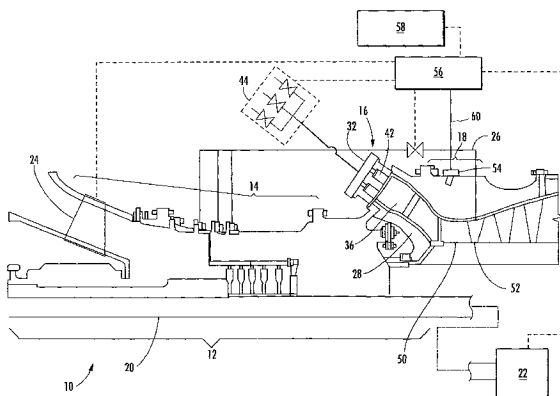
权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 5 页

(54) 发明名称

用于操作燃气轮机的系统及方法

(57) 摘要

本发明涉及用于操作燃气轮机的系统及方法。具体而言,一种用于操作燃气轮机的系统包括压缩机、燃烧器和涡轮。燃烧器和涡轮限定热气体通路。设置在热气体通路外的传感器测量来自燃烧器或涡轮的内部热辐射,并产生反映内部热辐射的第一信号。内部热辐射为红外线辐射或紫外线辐射。连接到传感器上的控制器接收第一信号,并响应于来自传感器的第一信号调整压缩机、燃烧器或涡轮。一种用于操作燃气轮机的方法包括使用设置在热气体通路外的传感器来测量来自燃烧器或涡轮内的内部热辐射。该方法还包括产生反映内部热辐射的第一信号,以及响应于来自传感器的第一信号来调整压缩机、燃烧器或涡轮的操作。



1. 一种用于操作燃气轮机 (12) 的系统,包括:
 - a. 压缩机 (14);
 - b. 位于所述压缩机 (14) 下游的燃烧器 (16);
 - c. 位于所述燃烧器 (16) 下游的涡轮 (18),其中,所述燃烧器 (16) 和所述涡轮 (18) 限定热气体通路;
 - d. 设置在所述热气体通路外的传感器 (54),其中,所述传感器 (54) 测量来自所述燃烧器 (16) 或所述涡轮 (18) 中的至少一个内的内部热辐射,并且产生反映所述内部热辐射的第一信号 (60),其中,所述内部热辐射包括红外线辐射或紫外线辐射中的至少一种;以及
 - e. 连接到所述传感器 (54) 上以接收所述第一信号 (60) 的控制器 (56),其中,所述控制器 (56) 响应于来自所述传感器 (54) 的第一信号来调整所述压缩机 (14)、所述燃烧器 (16) 或所述涡轮 (18) 中的至少一个。
2. 根据权利要求 1 所述的系统,其特征在于,所述压缩机 (14) 包括具有可调位置的入口引导导叶 (24),以及所述控制器 (56) 响应于来自所述传感器 (54) 的第一信号 (60) 来调整所述入口引导导叶 (24) 的可调位置。
3. 根据权利要求 1 或权利要求 2 中任一项所述的系统,其特征在于,所述燃烧器 (16) 包括可变燃料供送源 (44),以及所述控制器 (56) 响应于来自所述传感器 (54) 的第一信号 (60) 来调整所述可变燃料供送源 (44)。
4. 根据权利要求 1 至权利要求 3 中任一项所述的系统,其特征在于,所述系统还包括位于所述传感器 (54) 与所述内部热辐射之间的进出端口 (64)。
5. 根据权利要求 1 至权利要求 4 中任一项所述的系统,其特征在于,所述传感器 (54) 测量来自所述燃烧器 (16) 或所述涡轮 (18) 中的至少一个外的外部热辐射,并且产生反映所述外部热辐射的第二信号,其中,所述外部热辐射包括红外线辐射或紫外线辐射中的至少一种。
6. 根据权利要求 1 至权利要求 5 中任一项所述的系统,其特征在于,所述控制器 (56) 连接成用以接收所述第二信号,并且响应于来自所述传感器 (54) 的第二信号来调整所述压缩机 (14)、所述燃烧器 (16) 或所述涡轮 (18) 中的至少一个。
7. 根据权利要求 1 至权利要求 6 中任一项所述的系统,其特征在于,所述系统还包括连接到所述控制器 (56) 上的通信装置 (58),其中,所述控制器 (56) 响应于来自所述传感器 (54) 的第一信号 (60) 来促动所述通信装置 (58)。
8. 一种用于操作具有压缩机 (14)、燃烧器 (16) 和涡轮 (18) 的燃气轮机 (12) 的方法,其中,所述燃烧器 (16) 和所述涡轮 (18) 限定热气体通路,所述方法包括:
 - a. 使用设置在所述热气体通路外的传感器 (54) 测量来自所述燃烧器 (16) 或所述涡轮 (18) 中的至少一个内的内部热辐射,其中,所述内部热辐射包括红外线辐射或紫外线辐射中的至少一种;
 - b. 产生反映所述内部热辐射的第一信号 (60);
 - c. 响应于来自所述传感器 (54) 的第一信号 (60) 来调整所述压缩机 (14)、所述燃烧器 (16) 或所述涡轮 (18) 中的至少一个的操作。
9. 根据权利要求 8 所述的方法,其特征在于,所述方法还包括使用设置在所述热气体通路外的传感器 (54) 测量来自所述燃烧器 (16) 或所述涡轮 (18) 中的至少一个外的外部

热辐射,其中,所述外部热辐射包括红外线辐射或紫外线辐射中的至少一种。

10. 根据权利要求 8 或权利要求 9 中任一项所述的方法,其特征在于,所述方法还包括产生反映所述外部热辐射的第二信号。

11. 根据权利要求 8 至权利要求 10 中任一项所述的方法,其特征在于,所述方法还包括响应于来自所述传感器 (54) 的第二信号来调整所述压缩机 (14)、所述燃烧器 (16) 或所述涡轮 (18) 中的至少一个的操作。

12. 根据权利要求 8 至权利要求 11 中任一项所述的方法,其特征在于,所述方法还包括响应于来自所述传感器 (54) 的第一信号来调整所述压缩机中的入口引导导叶。

13. 根据权利要求 8 至权利要求 12 中任一项所述的方法,其特征在于,所述方法还包括响应于来自所述传感器 (54) 的第一信号 (60) 来调整通向所述燃烧器 (16) 的可变燃料供应源 (44)。

14. 根据权利要求 8 至权利要求 13 中任一项所述的方法,其特征在于,所述方法还包括经由位于所述传感器 (54) 与内部辐射之间的进出端口 (64) 测量所述内部热辐射。

15. 根据权利要求 8 至权利要求 14 中任一项所述的方法,其特征在于,所述方法还包括响应于来自所述传感器 (54) 的第一信号 (60) 来促动通信装置 (58)。

用于操作燃气轮机的系统及方法

技术领域

[0001] 本发明主要涉及一种用于操作燃气轮机的系统及方法。具体而言,本发明的实施例监测燃烧器和/或涡轮的内部和/或外部的热辐射(或热放射),以便调整燃气轮机的操作。

背景技术

[0002] 燃气轮机广泛用于工业和发电操作。典型的燃气轮机包括位于前部的轴向压缩机、位于中部附近的一个或多个燃烧器,以及位于后部的涡轮。环境空气进入压缩机,且压缩机中的旋转叶片和静止导叶逐渐地将动能给予工作流体(空气),以便使其达到高度受激励的状态。工作流体离开压缩机并流向燃烧器,在该处,工作流体与燃料相混合,且点燃以产生具有较高温度、压力和速度的燃烧气体。燃烧气体从燃烧器经由涡轮沿热气体通路流动。在涡轮中,燃烧气体膨胀以做功。例如,燃烧气体在涡轮中的膨胀可使连接到发电机上的轴旋转而发电。

[0003] 广泛公知的是,燃气轮机的热动力效率随着操作温度(也即燃烧气体温度)的升高而增大。较高温度的燃烧气体包含更多能量,且随着燃烧气体在涡轮中膨胀而做更多的功。然而,较高温度的燃烧气体可在燃烧器或涡轮中产生过热的温度,该温度可能接近或超过沿热气体通路的各种构件的寿命极限温度。此外,操作状况的变化,例如环境温度、燃料成分和/或燃气轮机操作水平的变化,可导致会破坏各种构件的过热温度。结果,工业和发电燃气轮机通常包括监测和控制燃气轮机操作的控制系统。例如,控制系统可监测压缩机、燃烧器或涡轮中的各种温度并调整一个或多个构件的操作,以便实现对于燃气轮机的期望操作参数和/或确保不超过各种操作极限。

[0004] 控制系统可使用安装在多个位置处的多个传感器,以便全面地监测燃气轮机的各种参数。例如,本领域中公知的照相机、气体分析器、热电偶以及其它传感器可安装成用以监测燃烧器中、涡轮中、或沿热气体通路的状况。然而,燃烧器、涡轮和热气体通路中较高的温度和压力的状况会产生对于传感器的不利环境,其不利地影响传感器的灵敏度、准确度、寿命和总体性能。因此,期望的是将有一种控制系统,其能监测燃烧器、涡轮和/或热气体通路内的参数而无需将传感器安装在这些构件或位置内。

发明内容

[0005] 本发明的方面和优点将在以下说明中作如下阐述,或可根据该说明而清楚,或可通过实施本发明而懂得。

[0006] 本发明的一个实施例为一种用于操作燃气轮机的系统。该系统包括压缩机、位于压缩机下游的燃烧器,以及位于燃烧器下游的涡轮。燃烧器和涡轮限定热气体通路。设置在热气体通路外的传感器测量来自燃烧器或涡轮中的至少一个内的内部热辐射,并产生反映内部热辐射的第一信号。内部热辐射包括红外线辐射或紫外线辐射中的至少一种。连接到传感器上的控制器接收第一信号,且响应于来自传感器的第一信号而调整压缩机、燃烧

器或涡轮中的至少一个。

[0007] 在另一实施例中，一种用于操作燃气轮机的系统包括压缩机、位于压缩机下游的燃烧器，以及位于燃烧器下游的涡轮。燃烧器和涡轮限定热气体通路。设置在热气体通路外的传感器测量来自燃烧器或涡轮中的至少一个内的内部热辐射，并产生反映内部热辐射的第一信号。该传感器还测量来自燃烧器或涡轮中的至少一个外的外部热辐射，并产生反映外部热辐射的第二信号。内部热辐射和外部热辐射包括红外线辐射或紫外线辐射中的至少一种。连接到传感器上的控制器接收第一信号和第二信号，且响应于来自传感器的第一信号或第二信号中的至少一个而调整压缩机、燃烧器或涡轮中的至少一个。

[0008] 本发明的另一实施例为一种用于操作燃气轮机的方法，该燃气轮机具有压缩机、燃烧器和涡轮，其中，燃烧器和涡轮限定热气体通路。该方法包括使用设置在热气体通路外的传感器来测量燃烧器或涡轮中的至少一个内的内部热辐射，其中，该内部热辐射包括红外线辐射或紫外线辐射中的至少一种。该方法还包括产生反映内部热辐射的第一信号，以及响应于来自传感器的第一信号而调整压缩机、燃烧器或涡轮中的至少一个的操作。

[0009] 本领域的普通技术人员在浏览说明书时将更好地理解这些实施例的特征和方面。

附图说明

[0010] 在包括参照附图的余下说明书中，向本领域的普通技术人员更为具体地阐述了本发明包括其最佳模式的完整和能够实施的公开内容，在附图中：

[0011] 图 1 为根据本发明一个实施例的系统的简化截面；

[0012] 图 2 为根据本发明一个实施例的燃烧器的简化截面；

[0013] 图 3 为根据本发明第二实施例的燃烧器的简化截面；

[0014] 图 4 为根据本发明第三实施例的燃烧器的简化截面；以及

[0015] 图 5 为根据本发明一个实施例的用于控制器的算法的框图。

[0016] 零件清单

[0017] 10 系统

[0018] 12 燃气轮机

[0019] 14 压缩机

[0020] 16 燃烧器

[0021] 18 涡轮

[0022] 20 转子

[0023] 22 发电机

[0024] 24 入口引导导叶

[0025] 26 旁通连接件 (connection)

[0026] 28 压缩机排出仓室

[0027] 30 壳体

[0028] 32 端盖

[0029] 34 衬套

[0030] 36 燃烧室

[0031] 38 流动套筒

- [0032] 40 环形通道
- [0033] 42 喷嘴
- [0034] 44 可变燃料供送源 (supply)
- [0035] 46 过渡件
- [0036] 48 热气体通路
- [0037] 50 定子
- [0038] 52 轮叶
- [0039] 54 传感器
- [0040] 56 控制器
- [0041] 58 通信装置
- [0042] 60 信号
- [0043] 62 支承结构
- [0044] 64 观察端口
- [0045] 70 检测、测量、监测
- [0046] 72 绘图
- [0047] 74 比较
- [0048] 76 调整
- [0049] 78 通知

具体实施方式

[0050] 现将详细地参照本发明的实施例,其中的一个或多个实例在附图中示出。详细说明使用数字和字母标记来指代附图中的特征。附图和说明中相似或类似的标记用于指代本发明相似或类似的部分。

[0051] 各实例均是以阐释本发明来提供的,而并非对本发明的限制。实际上,本领域的普通技术人员很清楚,在不脱离本发明的范围或精神的情况下,可在本发明中进行各种修改和变型。例如,示为或描述为一个实施例的一部分的特征可在另一实施例上使用以产生又一个实施例。因此,期望的是,本发明涵盖归入所附权利要求及其等同物的范围内的这些修改和变型。

[0052] 图 1 示出了根据本发明一个实施例的系统 10 的简化截面。如图所示,系统 10 通常包括燃气轮机 12,该燃气轮机 12 具有在前部的压缩机 14、在中部附近沿径向设置的一个或多个燃烧器 16,以及在后部的涡轮 18。压缩机 14 和涡轮 18 通常共用连接到用以发电的发电机 22 上的公共转子 20。

[0053] 压缩机 14 可包括轴流式压缩机,在其中诸如环境空气的工作流体经由入口引导导叶 24 进入,并穿过多级翼型件(未示出)。入口引导导叶 24 可具有可调整的位置,以便取决于燃气轮机 12 的操作水平来调节或调整容许进入压缩机 14 中的工作流体量。多级的翼型件加速和重新引导工作流体,以便产生连续流动的压缩工作流体。一部分的压缩工作流体可经由旁通连接件 26 围绕燃烧器 16 转移,以便向涡轮 18 提供冷却,而其余的压缩工作流体则离开压缩机 14,并经由压缩机排出仓室 28 流至燃烧器 16。

[0054] 燃烧器 16 可包括本领域中公知的任何类型的燃烧器。例如,如图 2、图 3 和图 4 中

所示,壳体 30 可包绕燃烧器 16,以便收纳离开压缩机 14 的压缩工作流体。端盖 32 和衬套 34 可限定燃烧室 36,以及流动套筒 38 可包绕衬套 34 以在流动套筒 38 与衬套 34 之间限定环形通道 40。压缩的工作流体可从排出仓室 28 经由环形通道 40 朝端盖 32 流动,在端盖 32 中,该工作流体反向以流动穿过喷嘴 42 并进入燃烧室 36 中。可变的燃料供送源 44 可将燃料混合物提供给喷嘴 42,使得在燃烧之前,喷嘴 42 可将燃料混合物与压缩工作流体相混合。可能的燃料包括高炉气体、焦炉气体、天然气、气化液化天然气 (LNG)、氢气以及甲烷中的一种或多种。燃料和工作流体的混物流至燃烧室 36,在该处,混合物点燃以产生具有较高温度和压力的燃烧气体。该燃烧气体经由过渡件 46 流至涡轮 18,在其中燃烧气体膨胀以做功。

[0055] 回来参看图 1,涡轮 18 可包括交错成列的定子 50 和旋转涡轮轮叶 52。第一级定子 50 将燃烧气体重新引导并聚集在第一级涡轮轮叶 52 上。当燃烧气体经过第一级涡轮轮叶 52 时,燃烧气体膨胀,导致涡轮轮叶 52 和转子 20 旋转。燃烧气体然后流至下一级定子 50,该定子 50 将燃烧气体重新引导至下一列旋转涡轮轮叶 52,且该过程在随后的级重复进行。

[0056] 因此,燃烧器 16 和涡轮 18 相结合以限定用于燃烧气体从燃烧器 16 流经涡轮 18 的热气体通路。如本公开内容中所用,热气体通路限定为燃烧气体当它们从燃烧室 36 流经涡轮 18 时所占用的通路。当燃烧气体流经热气体通路时,燃烧气体通过对流和传导加热来加热各种构件。取决于诸如环境温度、燃气轮机 12 操作水平、所用燃料等各种因素,热气体通路内和外的构件将产生红外光谱和 / 或紫外光谱的热辐射。

[0057] 如图 1 中所示,系统 10 还可包括传感器 54、控制器 56,以及通信装置 58。传感器 54 可包括设置在热气体通路外的红外线检测器和 / 或紫外线检测器。以此方式,传感器 54 可产生反映来自热气体通路内和 / 或外的热辐射的一个或多个信号 60 而无需进入热气体通路中的穿孔或孔洞。例如,传感器 54 可产生反映来自热气体通路内的热辐射的第一信号,以及反映来自热气体通路外的热辐射的第二信号。

[0058] 控制器 56 可包括各种构件,例如微处理器、协同处理器和 / 或存储器 / 介质元件,其储存数据、储存软件指令和 / 或执行软件指令。各种存储器 / 介质元件可为计算机可读介质中的一种或多种,例如但不限于易失性存储器(例如, RAM、DRAM、SRAM 等)、非易失性存储器(例如,闪存驱动器、硬盘驱动器、磁带、CD-ROM、DVD-ROM 等)和 / 或其它存储器装置(例如,软盘、基于磁性的储存介质、光储存介质等)的任何组合。因此,本领域的普通技术人员将容易认识到的是,控制器 56 可包括数据储存和处理器构造的任何可能的变型。

[0059] 控制器 56 连接到传感器 54 上,以便从传感器 54 接收反映来自热气体通路内和 / 或外的热辐射的一个或多个信号 60。控制器 56 然后可响应于来自传感器 54 的信号 60 而调整压缩机 14、燃烧器 16 和 / 或涡轮 18 中的一个或多个构件,以便实现燃气轮机 12 中所期望的温度或温度分布。例如,如图 1 中的虚线所示,控制器 56 可调整入口引导导叶 24 的位置或可变燃料供送源 44,以便改变燃料空气比,且因此改变燃烧气体的温度。类似的是,控制器 56 可调整流经旁通连接件 26 的压缩工作流体量,以便改变提供给涡轮 18 的冷却量,或控制器 56 可响应于来自传感器 54 的信号 60 来调整发电机 22 上的负载。

[0060] 此外或作为备选,控制器 56 可响应于来自传感器 54 的信号 60 而促动通信装置 58。通信装置 58 可包括本领域中公知的用于记录和 / 或传输信息的任何装置。例如,通信

装置 58 可包括报警电路、打印机、记录系统,或通知电路。操作人员可取决于由传感器 54 所检测到的实际状况而对通信装置 58 作出响应。例如,操作人员可采用燃气轮机 12 的人工控制来减轻不能由控制器 56 充分地控制的报警状况。作为另一实例,操作人员可响应于由通信装置 58 所传输的信息来改变预防性和 / 或纠正性的维护计划 (或调度) 。

[0061] 图 2 示出了根据本发明一个实施例的传感器 54 的一种可能的装设。如图所示,传感器 54 可安装在壳体 30 中,且指向燃烧室 36 的大致方向。由于衬套 34 和流动套筒 38 通常对红外线辐射和紫外线辐射是可透过的,故传感器 56 因此可检测和测量来自于热气体通路内和外的热辐射。例如,传感器 54 可检测和测量燃烧气体和 / 或热气体通路内的衬套 34 的内表面的温度。这可容许系统 10 监测燃烧器 16 的总体状况 (health), 以及提供对衬套 34 上削弱的热障涂层或喷嘴 42 中燃料和空气的不充分混合 (这可在衬套 34 上产生热条纹或熔融金属沉积物) 的早先检测。此外或作为备选,传感器 54 可检测和测量流经环形通道 40 和 / 或热气体通路外的流动套筒 38 外表面的压缩工作流体的温度。控制器 56 然后可响应于来自传感器 54 的信号 60 而调整入口引导导叶 24 的位置或可变燃料供送源 44, 以便实现所期望的燃烧器排出温度、衬套温度等。此外或作为备选,控制器 56 可促动通信装置 58, 以便提醒操作人员温度过热或由传感器 54 检测到的异常温度趋势。

[0062] 图 3 示出了根据本发明第二实施例的传感器 54 的另一可能的装设。在该实施例中,传感器 54 可安装在压缩机排出仓室 28 中,且指向端盖 32 和喷嘴 42 的大致方向。以此方式,传感器 54 可检测和测量端盖 32、各喷嘴 42 和 / 或热气体通路内的衬套 34 的内表面的温度,以便例如检测如前文所述的火焰稳定事件或喷嘴 42 中燃料与空气的不充分混合。如前文所述,控制器 56 然后可调整入口引导导叶 24 的位置和 / 或可变燃料供送源 44, 以便调整喷嘴 42 中的燃料空气混合物,以及对于给定操作水平实现喷嘴 42 中所期望的温度分布。

[0063] 图 4 示出了根据本发明第三实施例的传感器 54 的另一可能的装设。如图所示,传感器 54 可安装在用于燃烧器 16 的支承结构 62 中,且指向过渡件 46 和涡轮 18 中的第一级定子 50 的大致方向。如图 4 中所示,观察端口 64 可安装在传感器 54 与热气体通路之间,以便提高传感器 54 的灵敏度和 / 或准确度。观察端口可由能耐受燃烧器 16 的温度和压力同时还容许增大传送红外线辐射和紫外线辐射至传感器 54 的适合材料构成。例如,观察端口可由玻璃、玻璃纤维或类似的耐温材料构成。以此方式,传感器 54 可检测和测量过渡件 46 内表面和 / 或热气体通路内第一级定子 50 的温度。这可容许控制器基于代替排气温度或除排气温度之外的第一级定子 50 温度来调整燃气轮机 12 的各种操作参数。控制器 56 然后可调整经由旁通连接件 26 从压缩机 14 提供给定子 50 的冷却,以便实现所期望的温度分布。

[0064] 先前相对于图 1 至图 4 示出和描述的实施例可用于提供操作燃气轮机的方法。例如,该方法可包括检测、测量和 / 或监测来自热气体通路内和 / 或外的热辐射,这由图 5 中标为 70 的方框表示。用于检测、测量和 / 或监测热辐射的传感器 54 可产生反映热辐射的一个或多个信号 60。该方法然后可绘制反映热辐射的数据,这由图 5 中标为 72 的方框表示。例如,一般在 National Instruments 可买到和销售的商品名为 LabVIEW 的软件可用于比较采集到的数据并准备实时绘图,示出了热气体通路内和 / 或外的热辐射的位置和大小。在图 5 中的方框 74, 该方法可在给定的寿命和操作记录的时间内,对于构件将所测得的热辐

射与预测的热辐射相比较。基于该比较,控制器 56 可调整压缩机 14、燃烧器 16 和 / 或涡轮 18 的操作,以便实现如上文所述的期望的热辐射或温度分布。此外或作为备选,控制器 56 可调整所计划的纠正性和 / 或预防性维护之间的间隔。如图 5 中标为 78 的方框所示,控制器 56 还可促动通信装置 58,以告知操作人员所测得的热辐射。

[0065] 用于操作如前文所述的燃气轮机 12 的系统 10 及方法将提供相比于现有技术的多种技术和商业上的优点,而无需穿透燃烧器 16、涡轮和 / 或热气体通路。例如,对异常状况的早先检测和 / 或改善对热气体通路内和外的热辐射的监测、跟踪和绘制将改善燃气轮机 12 的可靠性和效率、延长前述可消耗构件的寿命,以及减少与升高的燃烧温度相关的非期望的排放物。此外,喷嘴 42 和燃烧器 16 的温度分布可在诸如启动操作的瞬变操作期间更为精密地监测,从而进一步改善燃气轮机 12 的可靠性和性能。最后,这些改善可通过使用相对便宜的红外线和紫外线传感器来实现,这些传感器不必能耐受燃烧器、涡轮和热气体通路的恶劣环境。

[0066] 本书面说明使用了包括最佳模式的实例来公开本发明,并且还使得本领域的普通技术人员能够实施本发明,包括制作和使用任何装置或系统以及执行任何所结合的方法。本发明可取得专利的范围由权利要求限定,并且可包括本领域的普通技术人员所构思出的其它实例。如果这些其它实例包括与权利要求的字面语言并无不同的结构元件,或者如果这些其它实例包括与权利要求的字面语言无实质差别的同等结构元件,则认为它们落在权利要求的范围内。

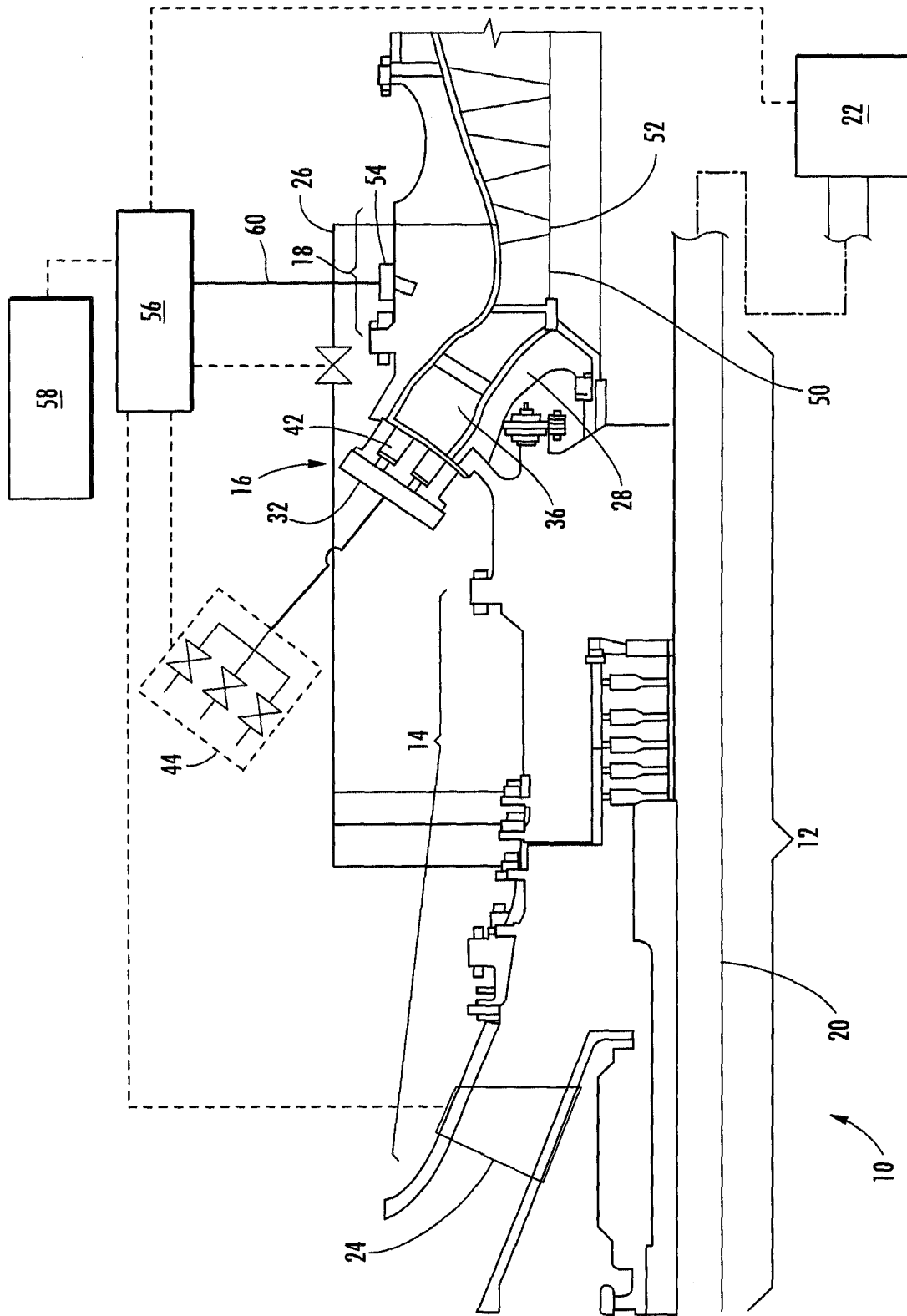


图 1

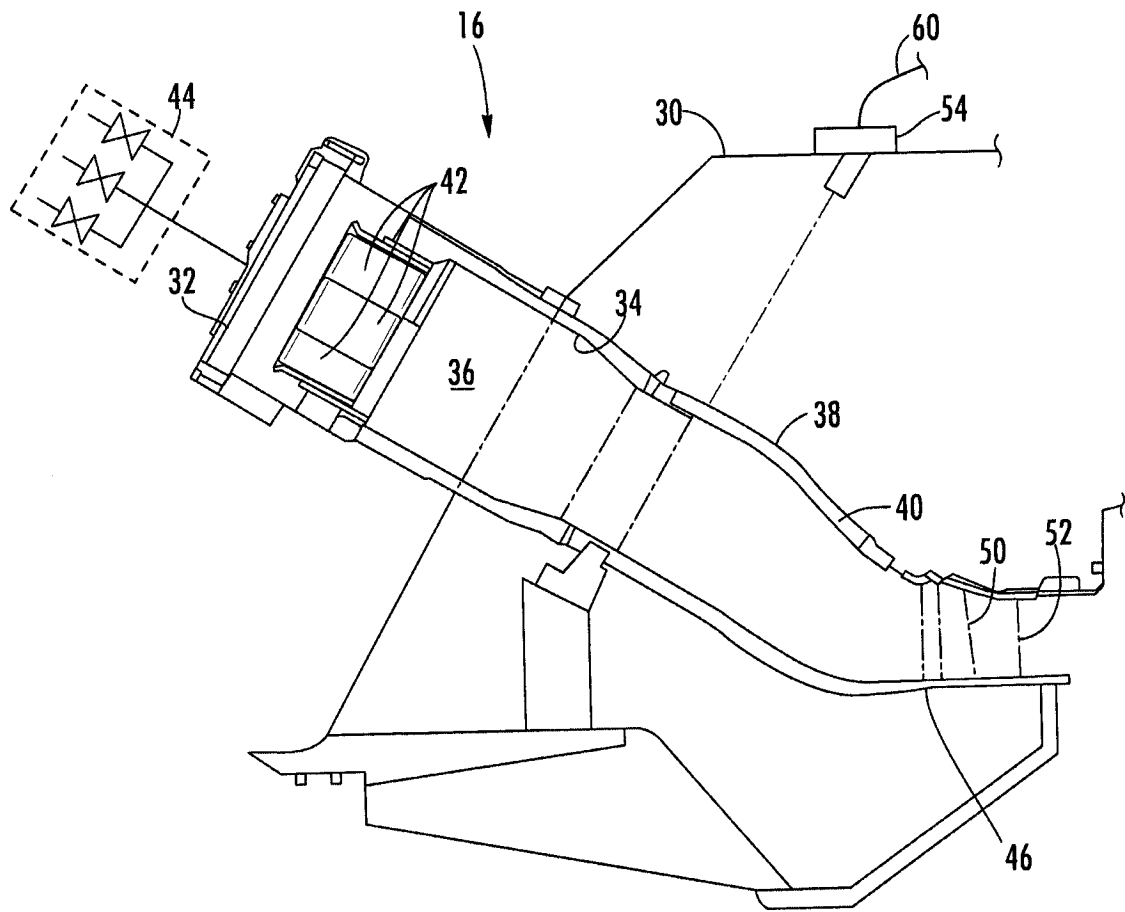


图 2

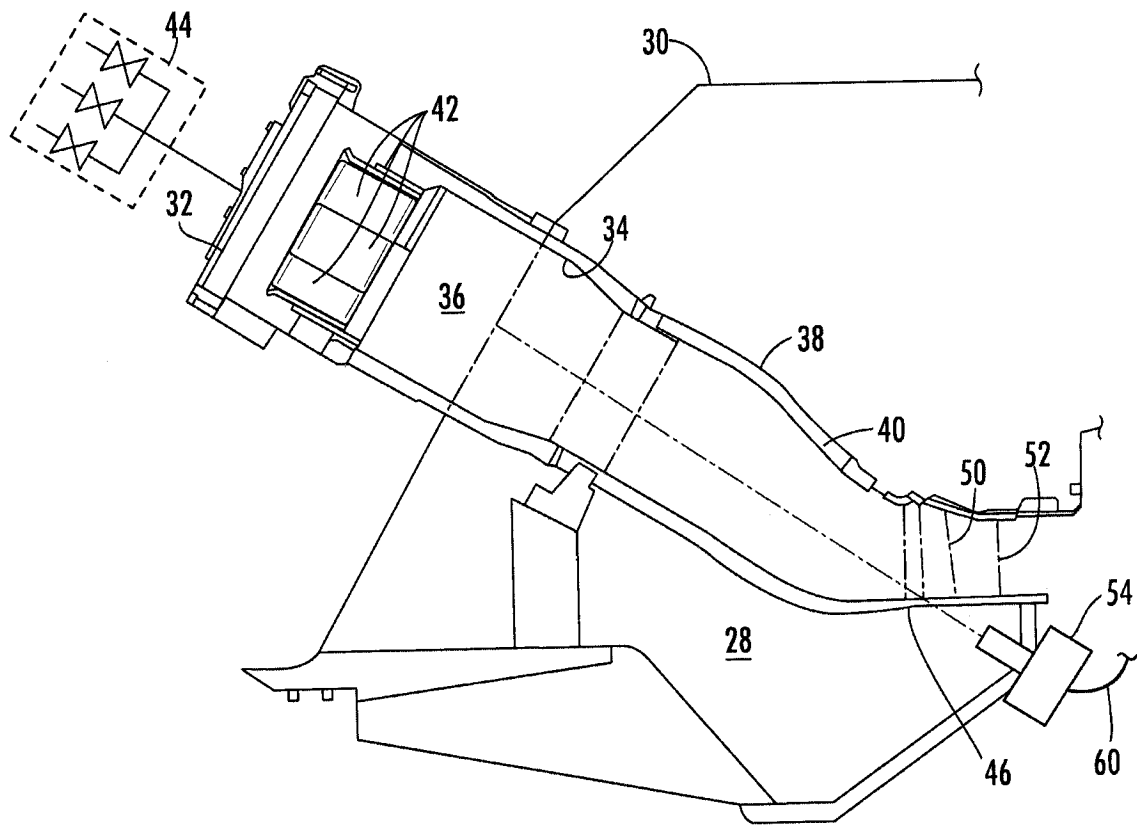


图 3

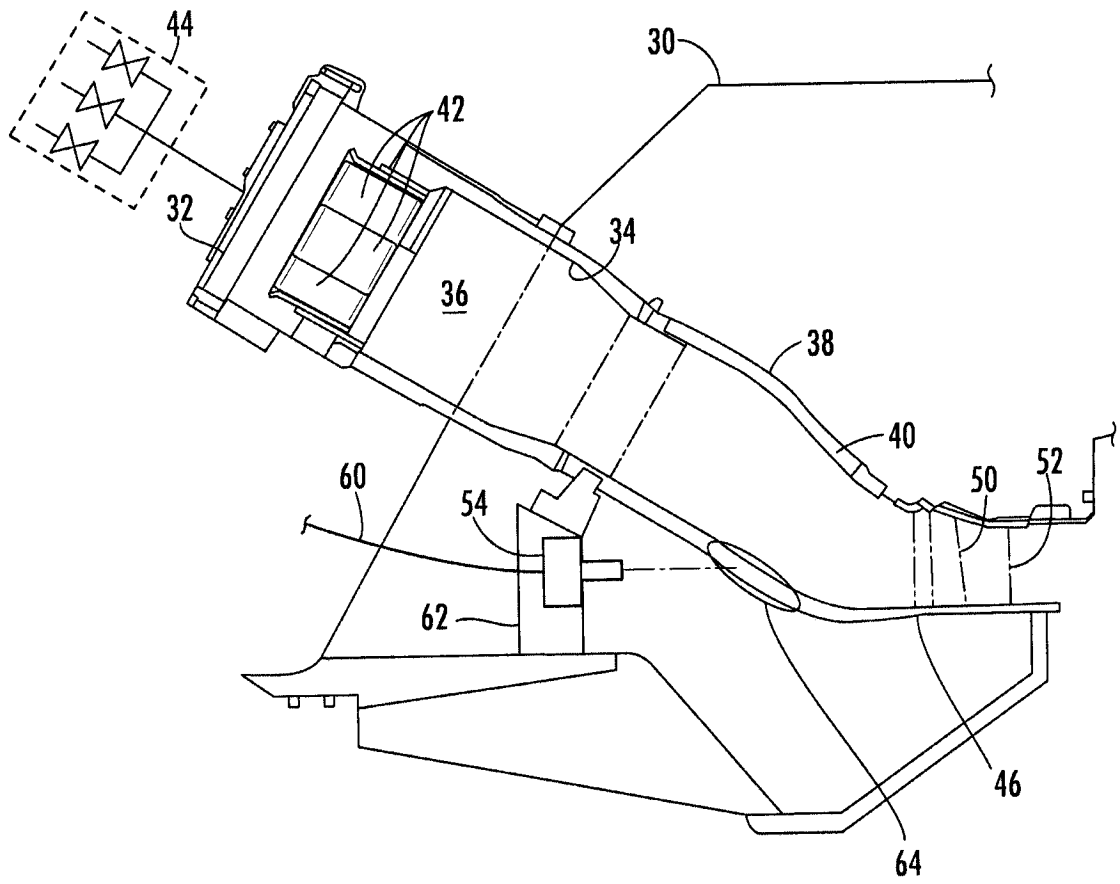


图 4

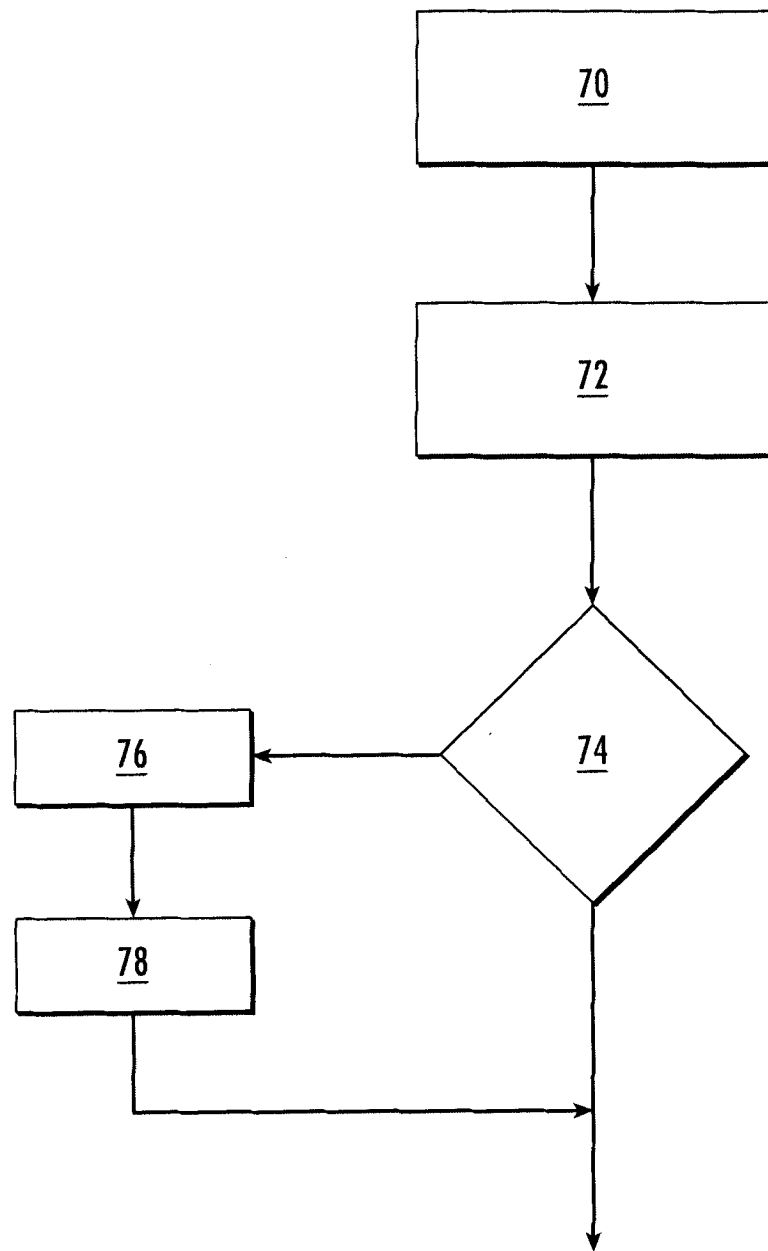


图 5