



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101802928 B

(45) 授权公告日 2014. 02. 26

(21) 申请号 200880108055. 7

(22) 申请日 2008. 07. 18

(30) 优先权数据  
60/961, 540 2007. 07. 20 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日  
2010. 03. 19

(86) PCT国际申请的申请数据  
PCT/US2008/008824 2008. 07. 18

(87) PCT国际申请的公布数据  
W02009/014658 EN 2009. 01. 29

(73) 专利权人 罗斯蒙德公司  
地址 美国明尼苏达州

(72) 发明人 安德鲁·居里·克罗辛斯基

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任  
公司 11021  
代理人 王波波

(51) Int. Cl.  
G01M 15/14 (2006. 01)  
F04B 51/00 (2006. 01)

(56) 对比文件  
US 2004267395 A1, 2004. 12. 30, 说明书第

[0023]、[0027]、[0155]、[0204].  
US 2004267395 A1, 2004. 12. 30, 说明书第  
[0023]、[0027]、[0155]、[0204].  
US 5560550 A, 1996. 10. 01, 说明书第 2 栏第  
10-26 行.  
US 6213711 B1, 2001. 04. 10, 说明书第 2 栏  
第 40-45 行.  
US 6543227 B2, 2003. 04. 08, 说明书第 1 栏  
第 36-45 行、第 3 栏第 28-47 行.  
CN 1940523 A, 2007. 04. 04, 全文.  
US 5560550 A, 1996. 10. 01, 全文.

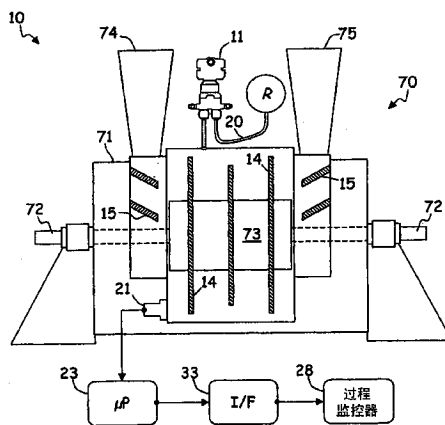
审查员 何昱康

权利要求书2页 说明书10页 附图7页

(54) 发明名称  
旋转装置的压力诊断

(57) 摘要

一种系统包括旋绕机器 (70)、传感器 (21) 以及处理器 (23)。所述旋绕机器 (70) 具有对流体操作的组件 (14、15)。所述传感器 (21) 感测所述流体中的压力。所述处理器 (23) 基于所述压力上的过程噪声来生成指示所述组件 (14、15) 的磨损的诊断。



1. 一种基于压力的诊断系统,包括:  
旋转机器,具有用于对流体操作的组件;  
传感器,用于感测所述流体中的过程压力,并监控包括过程噪声在内的压力变化;以及  
处理器,用于基于所述过程压力噪声的变化,来生成指示所述组件的磨损的磨损诊断,  
其中,所述磨损诊断与所述旋转机器中的组件的物理改变相关。
2. 根据权利要求1所述的系统,其中所述传感器具有小于所述旋转机器的旋转频率的两倍的采样频率。
3. 根据权利要求2所述的系统,其中所述采样频率小于所述旋转频率。
4. 根据权利要求2所述的系统,其中所述采样频率大于20Hz。
5. 根据权利要求1所述的系统,其中所述组件包括刀片或者叶片。
6. 根据权利要求5所述的系统,其中所述旋转机器包括涡轮。
7. 根据权利要求1所述的系统,其中所述诊断包括所述过程压力噪声的标准偏差。
8. 根据权利要求1所述的系统,其中所述处理器还基于所述诊断的改变来生成磨损指示符。
9. 根据权利要求1所述的系统,其中所述处理器还基于流体中的过程压力来生成过程压力值。
10. 根据权利要求1所述的系统,还包括:接口,用于通过环线发送所述过程压力值和所述诊断,其中,所述环线具有20mA或者更少的最大电流。
11. 一种基于压力的诊断方法,包括:  
感测与旋转装置的运行相关联的流体压力,所述旋转装置具有用于对流体操作的组件;  
监控所述流体压力上的过程噪声;以及  
生成作为所述过程噪声的函数的磨损诊断,使得所述磨损诊断与所述旋转装置的组件的物理改变相关。
12. 根据权利要求11所述的方法,其中以小于所述旋转装置的旋转频率的两倍的采样频率来执行对所述流体压力的感测。
13. 根据权利要求11所述的方法,其中监控所述流体压力上的过程噪声包括:监控所述压力的标准偏差。
14. 根据权利要求11所述的方法,还包括:当所述磨损诊断超过阈值时生成磨损指示符。
15. 根据权利要求11所述的方法,还包括:当所述磨损诊断的斜率超过阈值时生成磨损指示符。
16. 根据权利要求11所述的方法,其中所述组件的物理改变包括:刀片或者叶片中至少一个的磨损。
17. 根据权利要求16所述的方法,其中所述组件的物理改变包括:刀片或者叶片的至少一部分的离散损失。
18. 根据权利要求16所述的方法,其中所述磨损诊断还与蒸汽流中的水份相关联。
19. 根据权利要求16所述的方法,其中所述磨损诊断还与煤粉流中的微粒成分相关联。

20. 根据权利要求 11 所述的方法,还包括:通过具有 20mA 或者更少的最大电流的环线,发送所述压力和所述磨损诊断。

21. 一种诊断压力变送器,包括:

传感器,用于感测由对流体操作的旋转装置所生成的流体压力噪声;

处理器,用于生成作为所述压力噪声的函数的磨损诊断,并且用于生成作为所述磨损诊断改变的函数的磨损指示符;以及

接口,用于向监控系统发送所述磨损诊断和所述磨损指示符,

其中,所述磨损诊断与所述旋转装置的物理改变相关。

22. 根据权利要求 21 所述的变送器,其中所述传感器具有大于所述旋转装置旋转周期的采样周期。

23. 根据权利要求 22 所述的变送器,其中所述采样周期大于 45 毫秒。

24. 根据权利要求 21 所述的变送器,其中所述磨损诊断包括:所述压力噪声的标准偏差。

25. 根据权利要求 21 所述的变送器,其中所述变送器以不多于 50mW 的功率运行。

## 旋转装置的压力诊断

### 技术领域

[0001] 本公开的主题总体涉及旋转装置,并且更具体地涉及旋转装置组件的诊断技术。具体地,本发明涉及基于压力的诊断,该诊断用于监控对流体操作的组件的磨损。

### 背景技术

[0002] 压力传感器在广泛的工业应用中提供实用功能,所述工业应用包括大量流体存储和运输、农业、环境控制、配水和配气、食物和饮料制备、化学和药物生产以及利用热塑性塑料、胶、树脂以及其它流体材料的制造过程。压力测量对于能量产生以及其它碳氢化合物燃料应用来说也是重要的,所述碳氢化合物燃料应用涉及广泛的流体性流,包括天然气、柴油、煤粉、水和蒸汽。

[0003] 压力感测技术的范围从简单的弹簧计量器、张力计量器以及其它机械设备到高级的容性、压阻以及电化学传感器。在工业系统中,典型地,将这些传感器装在变送器或者其他更一般地现场设备中,所述现场设备保护传感器硬件并且添加更高阶的功能(比如信号处理和通信)。

[0004] 最恰当的压力测量方法依赖于过程材料的属性和每一个特定处理应用的需要。在例如保管传输中,典型地,借助伯努利原理以及其它速率相关的效应,来使用差压测量从而实现流敏感性。在能量产生中,需要标准以及绝对压力测量来提供对大型旋转装置(比如鼓风机、风扇、压缩机以及涡轮)的精度控制。

[0005] 在旋转装置应用中,由于与流动的流进行交互,对流体操作的组件易受到磨损。由于刀片和叶片的腐蚀,磨损逐渐地同时发生,并且由于碎片冲击和其他损害(包括刀片或者叶片的丢失、或者单体组件(比如尖端、螺旋翼区以及热涂层)的丢失),磨损还分别发生。

[0006] 为了诊断这些形式的磨损,必须连续地监控旋转装置的运行条件。然而,专用设备(比如刃尖传感器和入口碎片传感器)是昂贵的,并且不提供它们的特定诊断用途之外的测量功能。因此,需要将对磨损的敏感度与现有过程测量相结合并且可将其应用至广泛的保管传输、能量产生、环境控制以及其它流体流应用的诊断技术。

### 发明内容

[0007] 本公开涉及一种用于监控具有对流体操作的组件的旋转机器的系统和方法。该系统包括压力传感器和处理器。该传感器感测流体中的差分、计示或者绝对压力。该处理器基于压力的变化生成诊断。该诊断指示组件的磨损,比如刀片、叶片或者其部分的腐蚀或者缺失。

[0008] 本方法包括感测流体中的压力、监控压力上的过程噪声、并且生成作为过程噪声的函数的磨损诊断。该磨损诊断与组件中的物理变化相关联,所述物理变化包括由于磨损或者其它与流体流的损害性交互导致的变化。

## 附图说明

- [0009] 图 1 是旋转机器的基于压力的诊断系统的截面示意图。
- [0010] 图 2 是被配置为在图 1 的系统中使用的压力传感器 / 变送器的示意图。
- [0011] 图 3 是图 2 中的压力传感器的示意图,其示意了一个可能的信号处理配置。
- [0012] 图 4A 是理想化的 (快速) 压力采样下的过程压力和压力信号与时间关系的曲线图。
- [0013] 图 4B 是实际 (有限) 压力采样下的过程压力和压力信号与时间关系的另一曲线图。
- [0014] 图 5 是压力信号的标准偏差与时间关系的曲线图,示出了与各磨损效果的代表性相关。
- [0015] 图 6 是当应用于轴向流动气体涡轮引擎时、图 1 中的基于压力的诊断系统的截面示意图。
- [0016] 图 7 是当应用于鼓风机时、图 1 中的基于压力的诊断系统的截面示意图。

## 具体实施方式

[0017] 图 1 是旋转机器的基于压力的诊断系统 10 的截面示意图。系统 10 包括压力传感器 / 变送器 11 和旋转装置 12。

[0018] 在图 1 的特定实施例中,旋转装置 12 包括涡轮,该涡轮具有轴区 13A 和 13B、刀片 14、叶片 15、用于引入流体流 F 的入口多支管 16 以及用于导出流体流 F' 的出口多支管 17。将压力传感器 / 变送器 11 定位以测量流过涡轮 12 的流体中的压力,并且生成在对流体操作的涡轮 12 的组件的磨损诊断。

[0019] 由钢铁或者另一种耐久的金属合金的圆柱形、圆锥形或者截头圆锥体区形成输出轴区 13A 和轴鼓区 13B。输出轴 13A 旋转支撑在轴承 18 处,并且输出轴 13A 经由焊接、螺栓、机械螺钉或者类似机械附件与鼓 13B 耦合。典型地,鼓区 13B 是比输出轴区 13A 具有更大辐射尺度的中空结构,以将刀片 14 定位至接近叶片 15。

[0020] 用耐久性材料 (比如高温合金或者超合金) 来形成刀片 14 和叶片 15,并且它们通常具有保护性涂层 (比如陶瓷热屏障涂层)、铝涂层、镍铬铝钇 (Nickel-Chromium-Aluminum-Yttrium) (NiCrAlY) 涂层、或者它们的组合。刀片 14 和叶片 15 典型地具有螺旋翼形状的截面轮廓。

[0021] 轴鼓 13B 的旋转使刀片 14 移动经过叶片 15。在涡轮实施例中,通常将刀片 14 和叶片 15 布置为几个交替的段,将刀片 14 附在鼓 13B 的根部或者平台区,并且将叶片 15 类似地附至涡轮 / 引擎罩 19。

[0022] 入口多支管 16 是朝向鼓区 13B 中间的环形结构。出口多支管 17 类似地布置在大约鼓区的相反端。在涡轮 12 的运行中,工作流体在沿着鼓 13B 的两个方向上流入入口多支管 16,经过刀片 14 和叶片 15 流向出口多支管 17。由于工作流体从入口多支管 16 流向出口多支管 17,将刀片 14 和叶片 15 制作成从工作流体中提取热能,并且将该热能转换为运动的旋转能。

[0023] 输出轴 13A 将旋转能经由与鼓区 13B 耦合的机械传输至电功率生成器或者其它机械负载。出口多支管 17 将工作流体从涡轮 12 导向较低压力的涡轮、冷凝器、热交换机、冷

却塔或者排气道,用于附加能量提取或者扩散到环境中。

[0024] 在图 1 的特定实施例中,涡轮 12 是低压力离心涡轮,并且工作流体是蒸汽。在该实施例中,水分和冲击伤害对刀片 14 和叶片 15 的磨损做出了特别的贡献。在其它实施例中,工作流体是较高压力的蒸汽或者超热蒸汽,在该实施例中腐蚀和温度效应是重要的。在其它实施例中,如例如下面图 6 和 7 所示的,旋转装置 12 包括更一般化的风扇、鼓风机、涡轮或者压缩机组装部件。在这些实施例中,工作流体包括空气、蒸汽、冷却液、氧化剂、燃料、燃烧气体或者其它流体材料(包括微粒材料,比如煤粉或者煤灰)的任何组合,在该工作流体中冲击、腐蚀、侵蚀以及温度通过对装置 12 的组件的磨损改变了装置 12 的物理条件。

[0025] 变送器 11 包括压力传感器,所述压力传感器被定位为测量流过旋转装置 12 的流体的压力,并且监控包括过程噪声在内的压力变化,以诊断相关组件的磨损。在例如左手侧,使用入口多支管 16 和出口多支管 17 之间的冲击管或者其它流体连接 20,将压力传感器/变送器 11 定位为测量涡轮 12 上的差压(DP)。在该实施例中,传感器/变送器 11 作为差压(DP)传感器来运行。在右手侧,压力传感器/变送器 11 被定位为,相比于参考 R,测量最接近涡轮 12 的一个刀片 14 的压力。在该实施例中,传感器/变送器 11 要么作为计示压力(GP)传感器运行(当参考 R 是大气压力参考时)要么作为绝对压力(AP)传感器来运行(当参考 R 是真空压力参考时)。

[0026] 随着流体流过刀片 14 和叶片 15,刀片 14 和叶片 15 受到改变组件外形的磨损效果的影响,包括腐蚀、蚀损、侵蚀、冲击和刀片或者叶片元件(比如涂层、刃尖和螺旋翼的其它部分)的解离。由于鼓 13B 的转动,刀片 14 还受到机械应力和张力的影响,这可以导致几千或者更多的重力,并且可以引起变形或者附加的解离事件。刀片几何形的改变还使得鼓 13B 不平衡,导致在装置 12 上产生附加压力的轴振动。

[0027] 这些物理改变往往增加压力信号中的压力变化和过程噪声。通过感测该压力噪声,变送器/传感器 11 提供用于监控旋转装置 12 的诊断工具。具体地,诊断工具指示装置 12 的物理条件的改变,包括由于刀片 14 或者叶片 15 中的几何改变以及轴区 13A 或者 13B 的振动状态的改变而引起的磨损。

[0028] 图 2 是被配置为在图 1 的系统 10 中使用的具有压力传感器模块 21 的压力变送器 11 的示意。变送器 11 包括具有内部组件的外壳 22,所述内部组件包括压力传感器模块 21、处理器 23 和终端块 24(以虚线表示)。

[0029] 传感器模块 21 包括容性压力传感器、压电阻压力传感器、张力计量器、弹力计量器或者被配置为(以差分、计示或者绝对压力模式)生成作为线压力、动态压力、静态压力或者其它基于压力的流体参数的函数的压力信号的另一个压力敏感设备。由于与刀片、叶片和其它旋转装置组件的物理磨损相关,传感器 21 对于过程噪声和压力信号中的其他变化是敏感的。

[0030] 用坚固、耐久、可加工材料(比如铝、黄铜、钢和其它金属、PVC 塑料、ABS 塑料和其它耐久聚合物、以及它们的组合)形成外壳 22。使它们成形为若干侧壁、端壁、盖板以及其它结构,为压力传感器 21、处理器 23、终端块 24 以及变送器 11 的其它内部组件创建绝缘和保护性外壳。典型地,外壳 22 还形成压力密封以阻止侵蚀性、爆炸性气体以及其它有害制剂的进入。

[0031] 外壳 22 提供变送器 11 的电连接,例如经由在终端块 24 处的终端覆盖。在一些实

施例中,外壳还提供一些导管连接 25。变送器 11 的过程区典型地提供渗透阀 26 以及在边缘适配器耦合 27 处的过程流体连接,或者备选地耦合结构,比如用于冲击管 (impulse tube) 的耦合螺母。

[0032] 在一说明性实施例中,外壳 22 被配置为 3051S 压力变送器 (可从罗斯蒙德公司购得)。在其它实施例中,外壳 22 的特定配置变化,以适应不同的备选组件设计。在其它实施例中,以独立的形式提供传感器 / 变送器 11 的一个或者更多组件,并且传感器 / 变送器 11 的一个或者更多组件不包含在相同的外壳中。

[0033] 处理器 23 包括用于生成过程压力值的信号处理器以及用于生成磨损诊断和磨损指示符的统计处理器,每一个处理器基于主传感器 21 感测的压力。有时将信号和统计处理器结合为单一微处理器,并且有时信号和统计处理器被划分在电子堆栈或者电子组装部件 (比如信号处理器板和统计特征板) 中的不同电路组件之间。

[0034] 用绝缘体和一些导电终端形成终端块 24。该终端块主体典型地由耐久、可加工的聚合物 (比如塑料) 来形成,并且该终端典型地由导电金属 (比如钢、黄铜或者铜) 来形成。

[0035] 终端块 24 将变送器 11 与过程监控器 / 系统控制器 28 相连,所述过程监控器 / 系统控制器 28 作为旋转装置的基于压力的诊断系统的一部分。在一些实施例中,过程监控器 28 经由两线环与单一变送器 11 进行通信,如图 2 所示,该两线环包括独立的环线环 -A 和环 -B。在其它实施例中,使用控制环、数据电缆、数据总线和其它通信硬件 (包括红外 (IR)、光学、射频 (RF) 以及其它无线设备,比如罗斯蒙德 1420 网关),过程监控器 28 以串行或者并行方式与一些不同的变送器 11 进行通信。

[0036] 在两线实施例中,过程监控器 28 和传感器 / 变送器 11 之间的通信典型地利用 4-20mA 模拟电流信号协议。在一些实施例中,在模拟电流上叠加一系列数字信号,形成基于 HART<sup>®</sup> (高速通道可寻址远程传感器) 通信协议。备选地,过程监控器 28 利用一套模拟、数字和混合信号协议,包括 HART<sup>®</sup>、Foundation<sup>™</sup> Fieldbus、PROFI<sup>®</sup> BUS 以及 PROFI<sup>®</sup> NET。

[0037] 在图 2 的特定两线实施例中,环线环 -A 以及环 -B 携带大约四至二十毫安 (4-20mA) 的信号电流,并且提供大约十二和三十伏特 (12-30V, 或者无负载情况下从 10.5V 到 55V) 之间的最大操作电压。环路电流被用于与过程监控器 28 进行过程通信,并且还被用于向变送器 11 提供功率。

[0038] 大约 4mA 的标称信号偏移量提供对电流环的连续性测试,并且保留了大约 3mA 的专用电源电流。在典型的操作电压处,这将变送器操作功率限制为大约 18-36mW 或者更少。备选地,偏移量在五和十毫安 (5-10mA) 之间。在这些低功率实施例中,变送器 11 需要比典型的白炽夜光灯的额定功率的百分之一还少的功率。

[0039] 图 3 是在变送器 11 中包含的压力传感器 21 的示意图,示意了一种可能的信号处理配置。具体地,图 3 示出了主传感器模块 21 和包括信号处理器 31 和统计处理器 32 之间的处理器 23 之间的信号连接,以及处理器 23、接口 33 以及终端块 24 之间的信号连接。

[0040] 典型地,变送器 11 还包括用于配置、归零或者校准变送器的控制器,但是在图 3 中未示出控制器信号。在其它实施例中,如下面参照图 7 所示,压力传感器 21、处理器 23 以及接口 33 是独立组件并且未包括在变送器中。

[0041] 主传感器模块 21 生成作为与过程流体的热力学接触的函数的传感器信号 P-S。在一些实施例中,主传感器模块 21 首先生成连续的模拟传感器信号,比如来自容性压力传感

器的模拟电压或者来自压阻压力传感器的模拟电流。通过对模数 (A/D) 转换器 (或 ADC) 提供时钟将模拟信号数字化,使得 P-S 包括一系列数字信号。在其它实施例中,将 P-S 作为模拟信号传输给处理器 23,并且用一个或者更多处理器组件将 P-S 数字化。

[0042] 压力信号 P-S 代表主传感器模块 21 测量的压力。该压力具有两个分量:平均压力和过程压力噪声,其相对于平均值而改变或者波动。相比于对流体操作的旋转装置的旋转周期来说,平均压力通常在相对更长的时间标度上改变。另一方面,过程压力噪声通常在较短的时间标度上改变,这是由于以高的相对旋转速度对流体操作的刀片、叶片和其它组件的效果所导致的。还存在独立的信号噪声效果,其一般地在本质上是非周期性的并且受无关时间标度支配。

[0043] 信号处理器 (SPU) 31 通过计算一些数字传感器信号 P-S 的运行平均或者通过对模拟压力信号求积分来生成过程压力 PV (主过程变量)。在一些实施例中,以任意单位来生成过程压力 PV,并且在其它实施例中,以标准压力单位 (比如帕斯卡或者英寸水) 来校准 PV。在这些实施例的一些中,变送器 12 包括温度传感器,其用于提供过程压力 PV 的温度补偿。

[0044] 在图 3 的实施例中,统计处理器模块 (SPM) 32 生成三个不同的输出。它们是平均压力 P-A、磨损诊断 P-D 以及磨损指示符 P-I。平均压力 P-A 代表对一系列压力信号 P-S 计算的平均压力  $\langle P \rangle$ 。磨损诊断 (或者统计诊断) P-D 是压力信号的统计函数,并且指示旋转装置的组件的磨损程度。磨损指示符 P-I 作为警告或者警报 / 告警输出,其以磨损诊断 P-D 的改变为基础选择性地指示特定的磨损情形。

[0045] 磨损诊断 P-D 和旋转装置组件 (如刀片、叶片和轴) 的物理条件由经验数据和工程来确定。当旋转装置的物理条件改变时,其被反应在磨损诊断 P-D 中,如阈值的增加或阈值斜率的增加。这使得磨损指示符 P-I 基于磨损诊断 P-D 的改变而增加,指示需要诸如检测或关闭以进行更换和修复等维护行为。

[0046] 信号处理器 (SPU) 31 将过程压力 PV 通信给输入 / 输出接口 (I/F) 33。接口 33 生成过程监控器或者系统控制器的相应的过程输出,例如经由终端块 24 在环线环 -A 和环 -B 发送的模拟电流。类似地,SPM 32 将平均压力 P-A、磨损诊断 P-D 以及磨损指示符 P-I 通信给接口 33,并且接口 33 生成附加的相应过程输出,例如叠加在模拟电流上的数字信号。如上所述,还使用备选的模拟和数字通信协议。

[0047] 过程压力 PV 和 SPM 输出 P-A、P-D 以及 P-I 的数据速率受传感器 21 和相关 A/D 转换器组件的采样和积分时间的限制,还受信号处理器 (SPU) 31 以及统计处理器 (SPM) 32 的计算能力的限制。这些能力又受限于变送器 11 可用的总功率,该总功率由供电电流决定。

[0048] 典型地,基于传感器 21 的采样周期以及 SPU 31 的处理时间,基本上连续地更新过程变量 (比如 PV)。在一些实施例中,采样周期在大约十分之一秒和一秒之间 (大约 0.1-1.0s),与大约一和十赫兹 (大约 1-10Hz) 之间的采样率相对应。在其它实施例中,采样周期在大约四十毫秒和大约一百毫秒 (大约 40-100ms) 之间,与大约十和二十五赫兹 (10-25Hz) 之间的采样率相对应。在这些实施例之一中,采样周期是大约四十五毫秒 (45ms),与大约二十二点二赫兹 (22.2Hz) 的采样频率相对应。

[0049] 周期性地更新来自 SPM 32 的诊断输出。在一些实施例中,平均压力 P-A、诊断 P-D 以及指示符 P-I 的输出速率在大约十分之一赫兹和大约一赫兹之间 (0.1-1Hz),与大约一至十秒 (1-10s) 的诊断周期相对应。在这些实施例之一中,诊断输出速率是大约一赫兹

(1Hz),与大约一秒(1s)的诊断周期相对应。

[0050] 来自传感器模块 21 的压力信号 P-S 同时受到机械和电子阻尼的影响。机械阻尼包括冲击管以及相关压力耦合结构中的外部阻尼、以及变送器 11 本身中的内部阻尼,例如在充油式三弹簧压力耦合机构中。机械阻尼往往减少高频压力信号的效应,但是传感器 21 保持对具有压力信号上的过程噪声形式的这些信号的敏感性,当与旋转设备的运行相关联时尤其如此。

[0051] 电子阻尼典型地由传感器 21 中的滤波器电路实现,该滤波器电路对压力信号 P-S 进行成形。在一些实施例中,还由信号处理器 (SPU) 31 来提供电子阻尼,但是这依赖于变送器和传感器配置。在其它实施例中,统计处理器 (SPM) 32 还提供附加电子阻尼,但是 SPM 输出还高度依赖于采样效果,比如混叠 (aliasing) 和拍频相关 (beat-related) 的信号。这些效果使得基于压力的磨损诊断复杂化,当相关旋转频率接近或者超过采样率时尤其如此。

[0052] 图 4A 是理想化(快速)压力采样下,过程压力 PV 和压力信号 P-S 与时间关系的代表曲线图。过程压力 PV 和压力信号 P-S 都出现在纵轴上,沿水平方向是具有任意单位的时间。过程压力 PV 变化大约 1 的标准化和无量纲值。这落在了压力信号 P-S 的范围上方,但是不一定以相同单位来测量过程压力 PV 和压力信号 P-S,并且在任何情况下,纵轴是任意的。

[0053] 一般地,稳定性要求过程变量在短时间标度上是相对恒定的,以避免由于反馈造成的过校正以及振动。因此,如上所述,过程压力 PV 同时受机械性和电子性阻尼,典型的信号噪声(或者误差)大约为几个百分点或者更少。过程压力 PV 典型地对磨损相关的过程噪声效果不敏感。

[0054] 独立的压力信号 P-S 不受与过程压力 PV 相同的阻尼的影响,并且对于过程相关的噪声更敏感。采用如图 4A 所示的快速(理想化的)采样,可以将初始区域 41 中的独立刀片通过事件解析为周期性和大致正弦函数,其频率为刀片通过频率(BPF)。在正弦的顶部还存在与 BPF 不相关的随机信号噪声分量。

[0055] 在过渡 42 处,由于对特定刀片或者叶片的损害使得第二项出现。损害发生在相对短的时间标度上,比如刀片涂层或者刃尖区域的相对快速或者离散损失,而不是更逐步的腐蚀的较长时间标度特性。由于该损害发生,以旋转频率出现了第二个过程相关噪声信号,该旋转频率为单一(受损)刀片通过传感器的速率。由新的主要信号主导事件后区域 43 中的结果波形,但是该波形也示出了原始 BPF。

[0056] 在该特定示例中,BPF 是主频率的三倍,指示存在三个独立刀片。在其它实施例中,存在两个刀片或者四个或更多个刀片。对于每一个独立级,很多涡轮和压缩机设计使用例如几十个刀片。

[0057] 不幸地是,在实际过程监控应用中典型地无法达成图 4A 的理想化解析度,在低功率传感器环境中尤其如此。取而代之地,采样率一般地小于旋转频率,并且一般地远远低于 BPF。作为结果,无法解析独立的刀片信号,所以必须经由统计设备来监控旋转装置组件的刀片磨损和其它物理改变。

[0058] 图 4B 是更实际(有限)的采样率下的过程压力 PV 和压力信号 P-S 与时间关系的另一代表曲线图。如图 4A 所述,时间在水平轴上,过程压力和压力信号 P-S 在纵轴上,同时都采用任意单位。然而,与图 4A 不同,图 4B 示出了由于较低采样率导致的一些采样效果。

[0059] 一般地,当采样率不满足耐奎斯特关系时,无法充分解析周期性信号,耐奎斯特关系要求采样频率是信号频率的至少两倍:

$$[0060] \quad f_s \geq 2f \quad [1]$$

[0061] 当采样频率  $f_s$  小于信号频率  $f$  的两倍时(即当不满足等式 1 时),无法唯一地解析信号频率。在该情况下,初始区域 41 的信号波形不再以 BPF 出现,而是混叠至较低的频率,或者在一些情况下,可能完全消失。当仅最小的满足耐奎斯特关系(例如当采样频率小于相关旋转频率的四倍时)并且处理时间不足以解析采样率和信号之间的拍频效应时,发生类似效应。

[0062] 混叠依赖于信号频率和采样率的谐波之间的差异。具体地,混叠发生在频  $f_A$ , 该  $f_A$  满足

$$[0063] \quad f_A = |f - N \times f_s| \quad [2]$$

[0064] 其中  $N$  是采样频率谐波的阶数。原则上,等式 2 指示可以将单一主频率混叠至若干不同的谐波阶上。然而,实际上,该分析典型地得到较低混叠频率的较强信号,强调了采样频率  $f_s$  的最近谐波。

[0065] 在图 4A 和 4B 中,时间标度是任意的并且不限于任何特定的采样周期、刀片通过频率、或者其它特征时间标度。然而,在一个特定实施例中,采样周期是大约四十五毫秒(45ms),与 22.2Hz 的采样率相对应。对于 3,600rpm 的旋转频率来说,相应的 BPF(对于三个刀片)是 180Hz,并且单个(受损)刀片的通过频率是 60Hz。在该示例中,采样频率  $f_s$  的相关谐波是第八个( $N = 8$ ),其得到 2.4Hz 的拍频( $180\text{Hz} - 8 \times 22.2\text{Hz} = 2.4\text{Hz}$ )。

[0066] 然而,采样效果是高度依赖系统的,并且由于难以预测任何特定压力设备的行为,因此难以将采样效果一般化。给定例如有限的分析窗口,混叠信号有可能以采样频率的相对较低的整数倍的小划分出现,而不是由等式 2 给出的任何实际解。这是例如图 4B 中的情况,其中 BPF 信号以大约 2.22Hz(即,以采样频率的十分之一)而不是以 2.4Hz 的标称拍频出现。

[0067] 在过渡 42 处,刀片损害发生并且新的信号出现在事件后区域 43 中。该信号频率是 60Hz,其为 BPF 的三分之一(即新信号频率是受损刀片的通过频率)。由于仍没有满足耐奎斯特条件,因此不解析该信号。取而代之地,基于采样频率  $f_s$  的第三谐波(即,  $|60\text{Hz} - 3 \times 22.2\text{Hz}| = 6.6\text{Hz}$ ),将信号混叠为 6.6Hz。然而,主导信号实际以 6.66Hz 出现,其为采样频率的三分之一。

[0068] 由于信号频率增加到超过采样频率的一半,结果变得更加不可预测。当信号频率增加到超过大约采样频率的十倍,由于有限的分析时间以及“徘徊”在各频率上的相对不稳定的信号(如不平衡旋转系统的特征),最低拍频常减少到低于一赫兹并且典型地信号被淘汰。受损的刀片和叶片还往往产生高度可变的压力信号,使得难以解析独立贡献。另外,依赖于损害在哪里发生以及独立的刀片、叶片和其它组件如何交互,磨损信号要么以 BPF 要么以旋转频率出现,或者同时以这两者出现。

[0069] 这使得在没有较快速的采样和更加计算密集的方法(比如向量分析或者基于傅里叶的变换)的情况下难以生成有用的结果。不幸地是,这些方法在低功率变送器环境下一般不可用,并且增加的处理时间必然减少响应。但是,在一些运行条件下,即使当信号频率接近或者超过采样率时,也可以基于压力噪声和其它压力变化来生成有用的压力诊断。

[0070] 需要较少计算能力的一些统计压力诊断包括压力的标准 ( $\sigma$ ) 或者均方根 (rms) 偏差以及变化系数 ( $c_v$ ), 变化系数是除以了平均值的标准偏差。从而, 变化系数实质上是压力信号的信噪比的逆 (或者“噪声信号”比):

$$[0071] \quad c_v = \frac{\sigma}{\langle P \rangle} \quad [3]$$

[0072] 一般地, 对一系列数字压力信号或者通过对模拟压力信号求积分来确定平均差压  $\langle \Delta P \rangle$ 。在相同数据集合上计算标准 (或者 rms) 偏差  $\sigma$ , 并且标准 (或者 rms) 偏差  $\sigma$  包括随机信号噪声和磨损相关的效果。

[0073] 统计诊断不提供与更多计算形式 (比如傅里叶变换) 相同程度的与原始压力信号相关的信息, 并且与实际磨损条件的关联要求在高度可变过程条件下精确测量。最佳实践教学教导了难以达成该精度, 并且当旋转频率超过采样率时, 混叠和其它不可预测效果使得结果不确定。但是, 在特定运行条件过程下, 可以有效地将基于噪声的诊断 (比如标准偏差) 与在特定旋转装置的物理条件的改变 (包括磨损相关的效果) 相关。

[0074] 图 5 是压力信号的标准偏差与时间关系的曲线图, 示出了与不同磨损效果的代表性关联。过程压力 PV 以及标准偏差  $\sigma$  出现在纵轴上, 用归一化的平均压力  $\langle \Delta P \rangle$  进行任意地扩缩。

[0075] 图 5 中的时间标度也是任意的, 但是一般地与维护时间标度 (分钟、小时、天、月或者年) 对应。这与图 4A 和 4B 形成对比, 在图 4A 和 4B 中更具代表性的时间标度是秒或者更少的量级的旋转周期。

[0076] 与 (作为稳定输出生成的) 过程压力输出 PV 不同, 标准或者 rms 偏差 ( $\sigma$ ) 是对旋转组件 (包括刀片和叶片腐蚀、冲击引起的变形、部分或者完全解离事件、轴振动和鼓不平衡) 的物理改变的范围敏感的代表性磨损诊断。这些关联也适于其他基于噪声的诊断, 包括与 rms 偏差在功能上相关的均方差 ( $\sigma^2$ ) 以及变化系数 ( $c_v$ )。

[0077] 例如, 在曲线图的初始区域 41 中, 磨损诊断的值近似线性增加。这与噪声中的相对缓慢且单调的增加相对应, 噪声中的相对缓慢且单调的增加符合热或者腐蚀性流体中的、具有高微粒成分的流体中的、以及具有相对较小的冷凝水成分的蒸汽流中的刀片和叶片的逐步腐蚀的预期。

[0078] 在过渡 42 处, 诊断在相对较短的时间标度上充分增加。这是部分解离、变形或者其它冲击导致的事件的特征, 其中特定刀片或者叶片的物理形状以实质上离散的时间标度改变。典型地, 这增加了流中的非一致性、增加了变分的系数中代表的压力噪声。

[0079] 在事件后区域 43 中, 诊断沿实质上线性的模式增加。此处, 斜率大于初始区域 41, 指示由于之前的损害事件导致的较高的刀片应力。最后, 该曲线进入发散区域 44, 其中累积性损害已经产生了轴振动或者其它累进效果, 并且诊断快速增加直到故障发生。

[0080] 在一些实施例中, 生成作为诊断中的改变的函数的磨损指示符, 指示需要维护行为。在例如相对普通的磨损的情况下, 有时使用简单的阈值函数, 比如当诊断在交叉 45 处穿越警报阈值  $\theta$  时。在其它实施例中, 指示符基于诊断函数的斜率, 例如斜率在何处接近迁移 42 处的高或者发散值, 或者斜率何时穿过分歧区域 44 中的阈值斜率 S。

[0081] 图 6 是当应用于轴向流动气体涡轮引擎 60 的基于压力的诊断系统 10 的截面示意图。气体涡轮引擎 60 包括压缩机区 61、轴区 13A 和 13B、燃烧室 62 以及涡轮区 63。压缩机

61、燃烧室 62 以及涡轮 63 是关于轴区 13A 和 13B 共轴取向的,并且与上游入口 64 和下游排放 65 成流序列排列。

[0082] 输出轴区 13A 由轴承 18 支撑,并且机械地与鼓/线轴区 13B 相耦合。在首(压缩机)区 61 和尾(涡轮)区 63 中将旋转刀片 14 安装在线轴 13B 上。类似地,将固定叶片 15 安装在涡轮/引擎罩 19 的压缩机(首)和涡轮(尾)区,形成一些交错的压缩机和涡轮级。如参照图 1 描述的,类似地,将这些元件构建为涡轮系统 10 的轴、刀片和叶片组件。

[0083] 空气在引擎入口 64 进入气体涡轮引擎 60。压缩机 61 将来自入口 64 的空气压缩,以在燃烧室 62 中当做氧化剂使用,在燃烧室 62 中压缩空气与燃料混合并且被点燃以产生热的燃烧气体。燃烧气体驱动涡轮 63 并且经由排气装置 65 放出。轴线轴 13B 将涡轮 63 耦合至驱动压缩机区的压缩机 61,并且将涡轮 63 耦合至输出轴 13A,输出轴 13A 将旋转能传输至机械负载(比如发电机或者旋转驱动火车)。

[0084] 在一些实施例中,使用一些同轴嵌套的压缩机/涡轮线轴,每一个以不同的压力和旋转速度来运行以增强效率。在这些实施例中,有时经由变速箱将不同的输出轴 13A 与一个或者更多线轴耦合,例如以驱动地基发电机。备选地,使用独立的线轴来驱动一些不同的机械负载。在航空实施例中,例如,将排放装置 65 典型地形成为喷管,以生成来自热燃烧气体的推力,并且使用同轴嵌套的线轴来驱动压缩机 63 和上游扇涡轮,并且向附属功能(比如水压和环境控制)提供功率。

[0085] 变送器 11 包括被定位为在通过气体涡轮引擎 60 的流体路径上的不同位置处(比如在压缩机 61 和涡轮 63 处)监控或者对压力采样的压力传感器。变送器/传感器 11 生成作为压力变化和过程噪声的函数的磨损诊断,并且该诊断指示气体涡轮引擎 60 的运行条件。具体地,该诊断与刀片 14 和叶片 15 的物理改变相关,并且与轴鼓 13B 的振动导致的不对称相关,所述改变包括腐蚀、侵蚀和冲击相关的事件。

[0086] 图 7 是当应用于鼓风机 70 时,基于压力的诊断系统 10 的截面示意图。鼓风机 70 包括外壳 71、与轮轴耦合的驱动轴 72 以及风扇刀片 14。

[0087] 在图 7 的特定实施例中,鼓风机 70 包括主煤粉碎器风扇。在该实施例中,煤粉和空气(或者其它氧化剂)的流体流在入口 74 处进入鼓风机 70,通过风扇刀片 14 并且在出口 75 处离开。在其它实施例中,鼓风机 70 包括用于熔炉、冷却器或者更一般化的 HVAC(加热、通风以及空气调节)装置的风扇。

[0088] 在图 7 的粉碎机实施例中,驱动轴 72 与发动机(图中未示出)耦合,该发动机驱动轴或者鼓区 73。风扇刀片 14 以多级布置在鼓/轮轴 73 上,以有效地驱动流体煤粉/氧化剂混合物通过鼓风机 70。在一些实施例中,还是用一些引导叶片 15 以帮助导引流通过刀片 14 从入口 74 向出口 75 流动。

[0089] 图 7 示出了与鼓风机 70 直接耦合的一个传感器模块 21,无变送器外壳,处理器 23 和接口 33 被提供为分离(独立)组件或者包括在过程监控器/系统控制器 28 中。在压力传感器/变送器 11 中提供另一个传感器,压力传感器/变送器 11 并入了如上所述的这些其它组件,并且与鼓风机 70 经由动力管 20 相耦合。将这些传感器的每一个定位为通过对鼓风机 70 处理过的流体流中的压力进行采样来监控过程噪声,并且诊断转动组件(比如鼓/轮轴 73 和风扇刀片 14)的运行条件。具体地,传感器 21 和传感器/变送器 11 监控压力噪声,以诊断由于粉碎机流中的磨损造成的鼓风机 70 组件的磨损,并且当基于噪声的诊断

超过所选阈值或者斜率值时,指示对维护行为的需要。

[0090] 尽管已经通过首选实施例来描述本发明,使用的术语适用于描述性的而非限制性的。本领域技术人员将认识到可以在不背离本发明的精神和范围的情况下在形式和细节上做出改变。

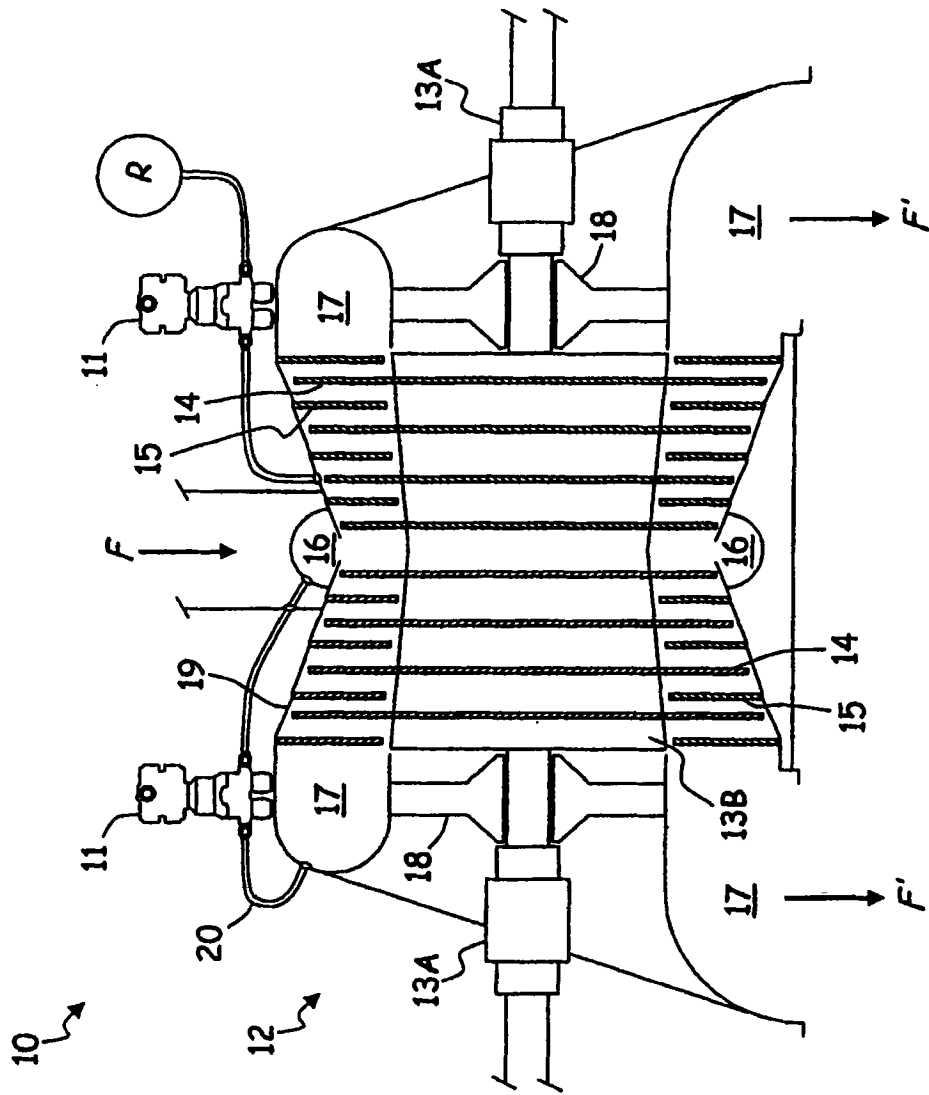


图 1

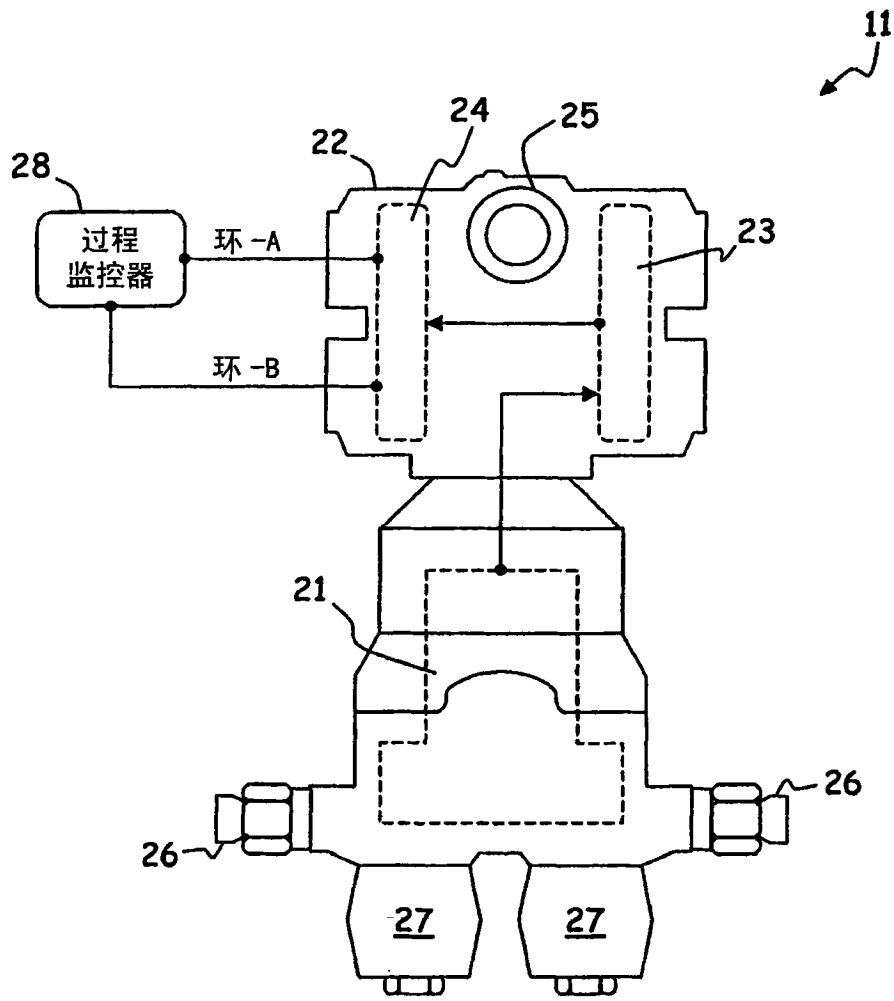


图 2

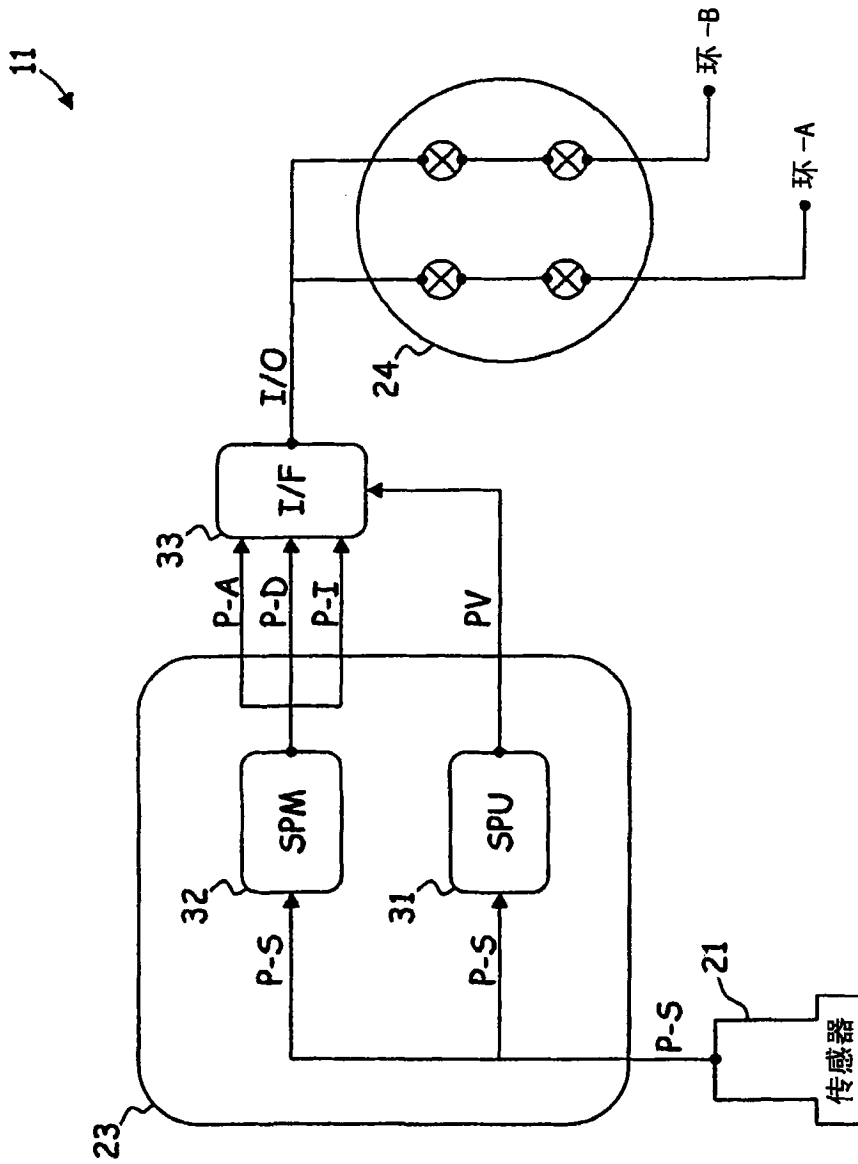


图 3

过程压力和压力信号与时间的关系（快速采样）

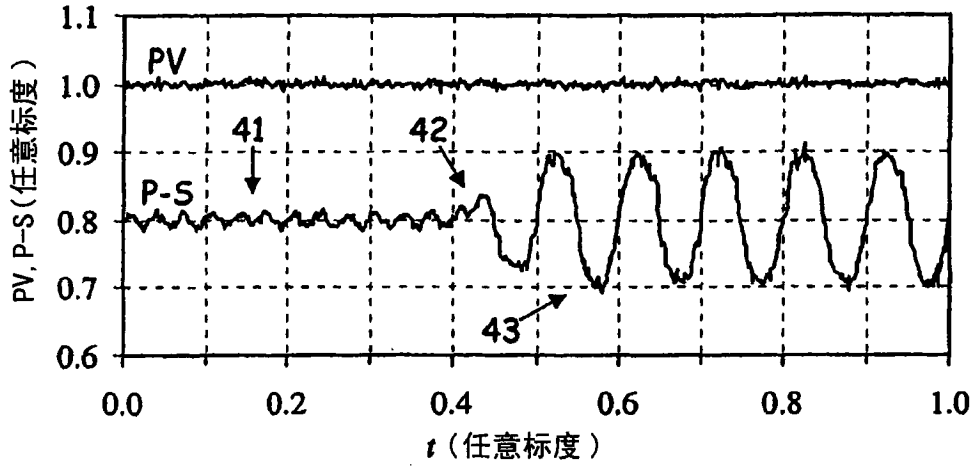


图 4A

过程压力和压力信号与时间的关系（有限采样）

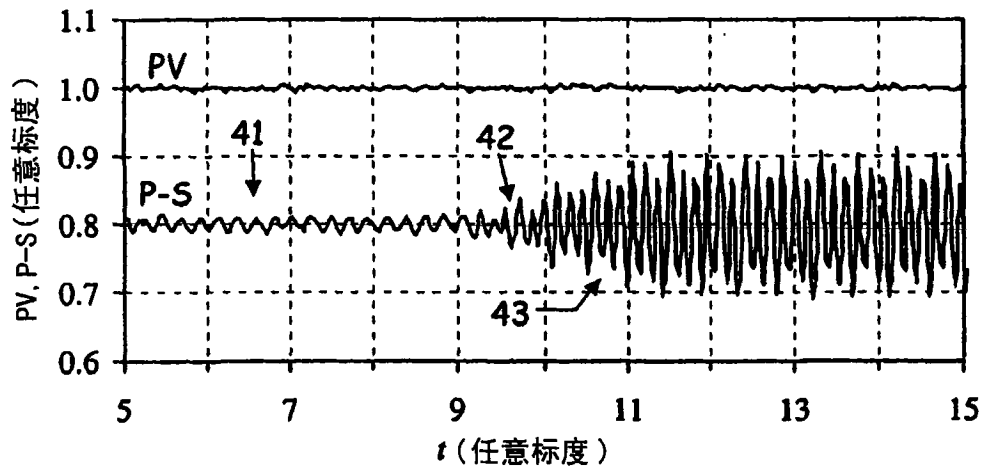


图 4B

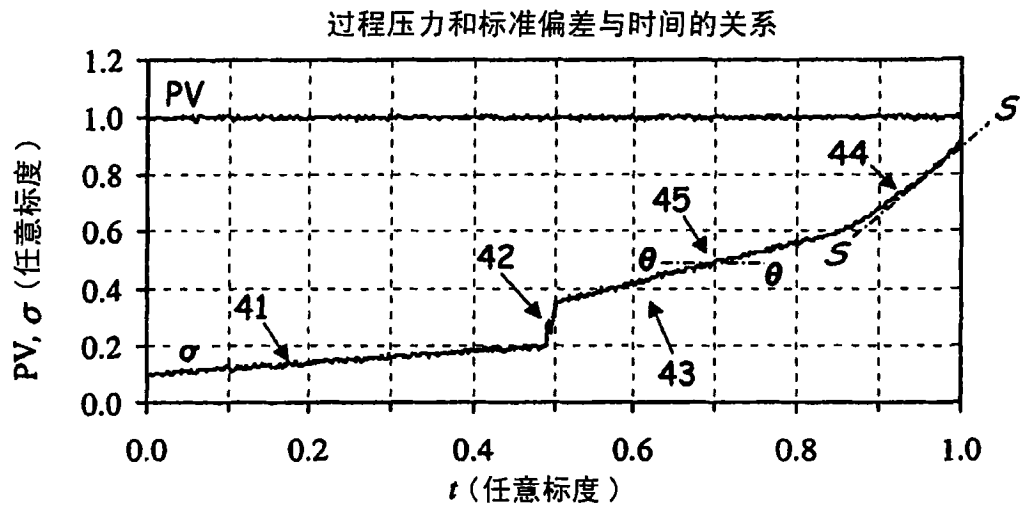


图 5

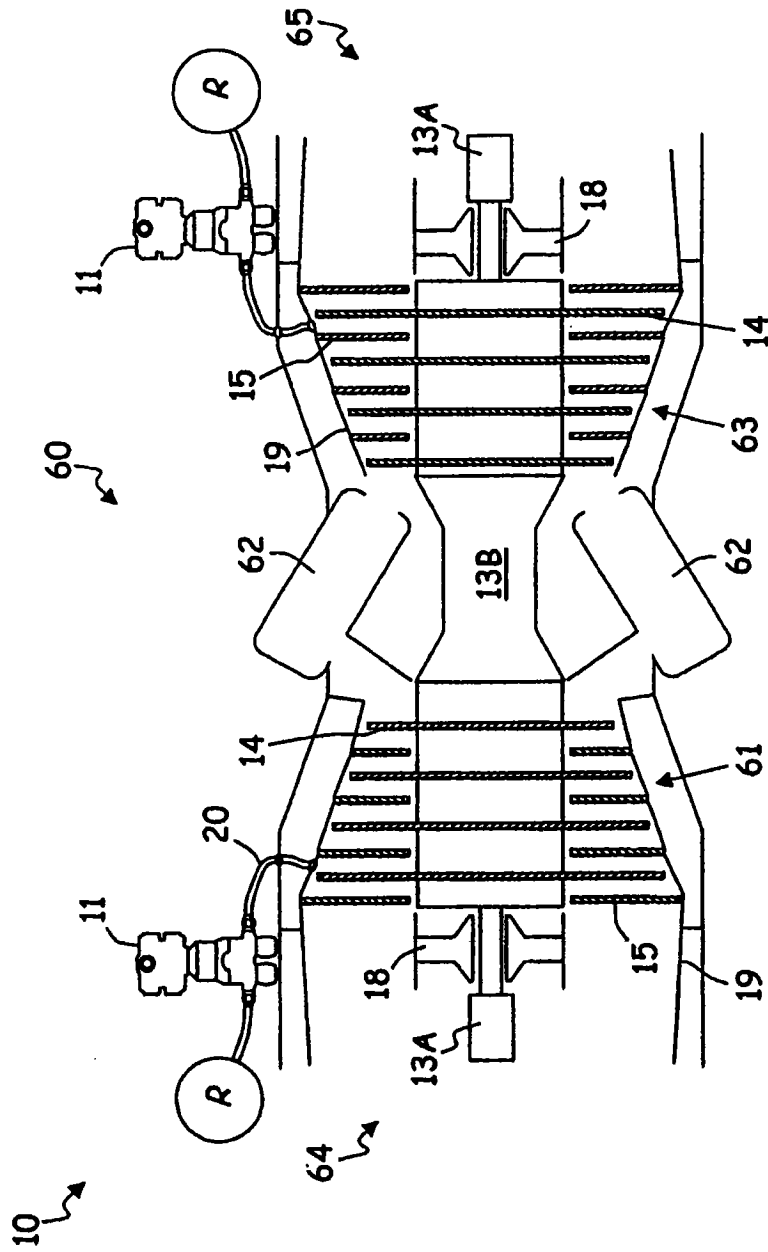


图 6

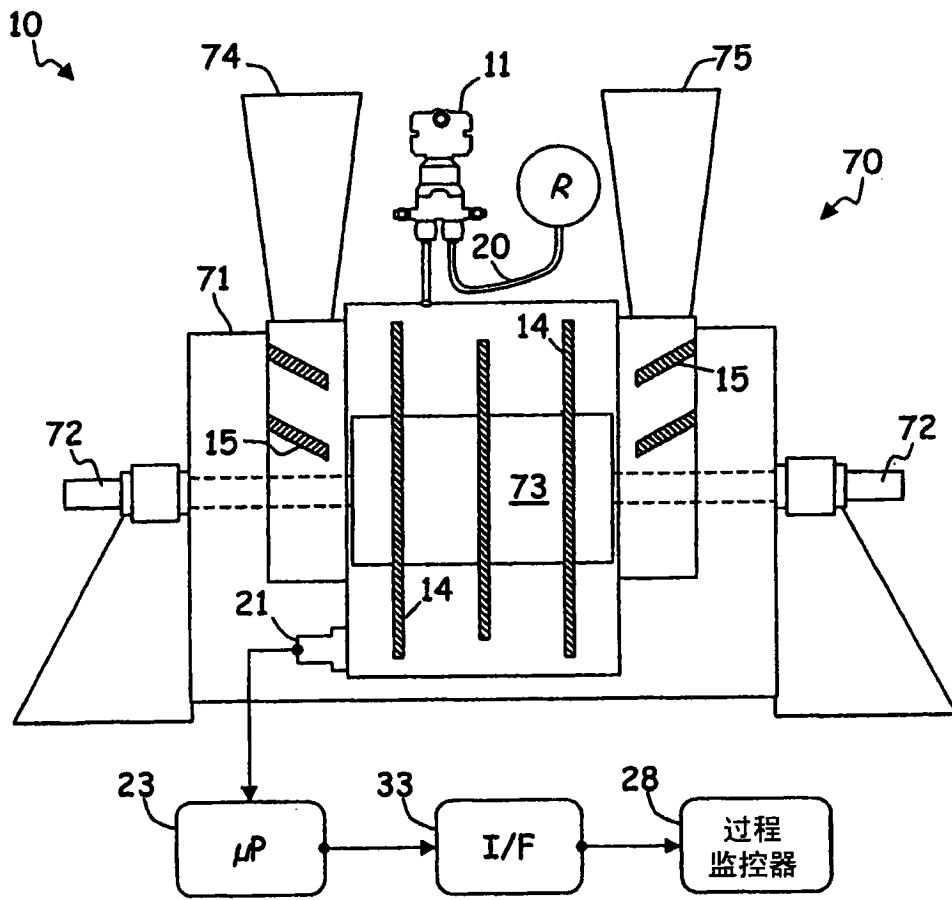


图 7