



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 99107131.X

[45] 授权公告日 2004年3月24日

[11] 授权公告号 CN 1143082C

[22] 申请日 1999.5.31 [21] 申请号 99107131.X

[30] 优先权

[32] 1998.5.29 [33] US [31] 086968

[71] 专利权人 联合工艺公司

地址 美国康涅狄格州

[72] 发明人 杰弗里·M·科恩 南希·M·雷伊

冈萨洛·J·雷伊

克拉斯·A·雅各布森

审查员 杨祥钧

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

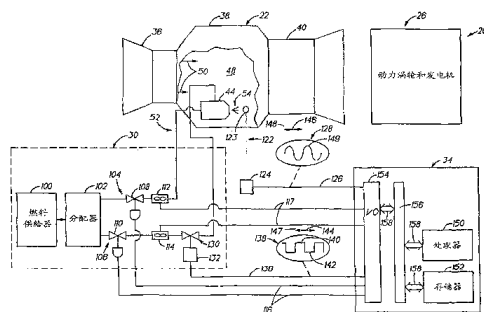
代理人 李晓舒

权利要求书 2 页 说明书 13 页 附图 10 页

[54] 发明名称 用于燃气燃烧器的装置

[57] 摘要

用于具有气体燃料供给器和燃烧器的系统的装置，燃烧器内有一压力和一放热率，压力值和放热率值中的至少一个变化，该装置包括：燃料致动器，接收来自气体燃料供给器的气体燃料流，响应一指令信号以第一调整的流率提供第一调整的气体燃料流；响应燃烧器内的压力值和放热率值中的至少一个的变化的装置，提供指令信号给燃料致动器以减少燃烧器内的压力值和放热率值中至少一个变化；该装置还包括：压力致动燃料阀，接收第一调整的气体燃料流，响应第一调整的气体燃料流的压力，以第二调整的流率提供第二调整的气体燃料流；预混合器，接收第二调整的气体燃料流，混合第二调整的气体燃料流和空气，形成气体燃料和空气的混合物，并提供给燃烧器。



1. 一种用于具有气体燃料供给器(100)和燃烧气体燃料和空气的混合物的燃烧器(48)的系统的装置,燃烧器内有一压力和一放热率,压力值和放热率值中的至少一个是变化的,该装置包括:

燃料致动器(130),接收来自气体燃料供给器的气体燃料流(106),并响应一指令信号以一第一调整的流率提供一第一调整的气体燃料流;

响应燃烧器内的压力值和放热率值中的至少一个的变化的装置,用于提供一指令信号给所述燃料致动器(130)以减少燃烧器内的压力值和放热率值中的至少一个的变化;其特征在于,所述装置还包括:

压力致动燃料阀(320, 410),接收所述第一调整的气体燃料流,并响应所述第一调整的气体燃料流的压力,以第二调整的流率提供第二调整的气体燃料流;

预混合器(44),接收所述的第二调整的气体燃料流,混合所述第二调整的气体燃料流和空气,形成气体燃料和空气的混合物,并提供该混合物给燃烧器。

2. 如权利要求1所述的装置,其特征在于,提供给预混合器(44)的第二调整的气体燃料流只占供给预混合器的气体燃料流的一部分,其他部分包括准稳定流率的气体燃料流(104)。

3. 如权利要求1或2所述的装置,其特征在于,压力致动燃料阀(320, 410)具有一开启压力,其至少两倍于燃烧器(48)的最大预期压力值。

4. 如权利要求1或2所述的装置,其特征在于,压力致动燃料阀(320, 410)是一提升阀。

5. 如权利要求1或2所述的装置,其特征在于,第二调整的气体燃料流的平均流率为供给燃烧器的总的燃料流的约0.001至0.33倍之间。

6. 如权利要求5所述的装置,其特征在于,第二调整的燃料流的平均流率为供给燃烧器(44)的总的燃料流的约0.01至约0.16倍之间。

7. 如权利要求1或2所述的装置,其特征在于,混合物的等效的燃料与空气比例在约0.4至0.6之间。

8. 如权利要求1或2所述的装置,其特征在于,还包括多个预混合器,所述多个预混合器中的一部分接收所述第二调整的气体燃料流,其他的预混

合器接收准稳定状态流率的气体燃料流，所述多个预混合器混合气体燃料流和空气，形成气体燃料和空气的混合物，并提供该混合物给燃烧器。

9. 如权利要求 8 所述的装置，其特征在于，提供给所述一部分预混合器(44)的调整的气体燃料流只占供给该一部分预混合器的燃料流的一部分，
5 其他部分包括准稳定状态流率的燃料流。

10. 如权利要求 1 或 2 所述的装置，其特征在于，用于提供指令信号的装置包括：

传感器(122)，检测压力值和放热率值中的一个的变化，并提供一指示信号；

- 10 控制装置(34)，响应传感器的信号并产生用于控制燃料致动器(130)的指令信号。

11. 如权利要求 10 所述的装置，其特征在于，所述传感器包括一压力传感器(122)，检测压力值的变化，并提供一指示信号，所述控制装置(34)具有响应该传感器的信号的装置，以产生用于控制燃料致动器的指令信号。

- 15 12. 如权利要求 11 所述的装置，其特征在于，所述控制装置(34)包括：
测量所述传感器信号以产生指示燃烧器(48)内的压力值的测量信号的装置；

根据所述测量信号产生相移信号的装置；以及
根据所述相移信号产生所述指令信号的装置。

20

用于燃气燃烧器的装置

5 技术领域

本发明涉及燃烧器，尤其涉及用于使用预混合的气体燃料/空气混合物的燃烧器的方法和装置。

背景技术

10 燃气轮机是公知的。典型的燃气轮机具有环形的轴向延伸的流道，用于使工作流体依次通过压缩区、燃烧区和涡轮区。燃烧区混合一般为空气的工作流体和燃料，并点燃燃料/空气混合物。

燃气轮机一般燃烧矿物燃料。这种燃烧的一个不好的结果是形成氮氧化物，一般用 NO_x 表示。氮氧化物是一种污染物，会引起健康和环境问题。政府标准建立了允许的 NO_x 向空气的排放量。

燃气轮机中 NO_x 的产生率直接取决于燃烧室中的温度。而燃烧室温度取决于混合物中燃料与空气的比值。当燃烧室的燃料/空气比值为理想比值，通常称为“理想混合物”时，燃烧室温度最高，产生 NO_x 最多。混合物中燃料与空气的比值小于理想比值时，通常称为“稀”混合物，导致较低的温度，比理想混合物时较小的 NO_x 产生率。“稀”混合物越稀，导致温度越低， NO_x 的产生率越小。

当使用稀混合物以实现低的 NO_x 的产生率时，在燃料和空气到达燃烧器之前，需要混合气体燃料和大量的空气。这种方法通常称为“预混合”，其使用预混合器以增加供应给燃烧器的混合物的均匀性。燃料在预混合器中经过足够长的时间，以保证其与空气充分混合。这段时间称为停留时间，可能为 1 或 2 毫秒 (msec)，当通常为大约 4msec。如果没有预混合，燃烧器中的某些区域就会形成极端稀混合物，而另外的区域可能会形成较浓的混合物，或接近理想混合物。混合物中的燃料与空气的混合越均匀，导致燃烧器中的峰值温度越低，因此 NO_x 的产生率越低。

30 然而，即使进行预混合，其他的考虑也会有效限制了混合物的稀度。混合物太稀，燃烧不稳定，会导致“熄火”状态，通常称为“稀熄火”。另外，

具有较高的燃料与空气比值的稀混合物，可保持稳定燃烧，但导致燃烧器内压力值和放热率的波动。在某些情况下，这两种波动之间的时间关系是，燃烧器的压力值波动引起放热率波动值增加，反之亦然。这种状态通常称为燃烧不稳定状态，引起燃烧器内压力值的大的波动。这种波动的重复率或称频率依赖于具体的应用。对于工业燃气轮机，频率通常在约 100Hz 到约 700Hz，通常为 200Hz 左右。因此，波动周期或称时间通常为 5msec。燃烧不稳定会导致包括燃气轮机损坏在内的问题。燃烧产生不稳定的可能性使得无法使用刚好大于稀熄火极限的燃料与空气的比值。

5 一项被动控制燃烧不稳定性的技术包括喷射一种辅助或称为引导性的燃料混合物进入燃烧器的侧壁。授予 McVey 等的美国专利 No. 5, 263, 325 中公开了该技术的一个例子。然而，引导燃料喷射的使用，不能充分降低燃烧的不稳定性，而又不引起 NO_x 产生率的明显增加。

一些参考文献公开了燃烧不稳定性的主动控制。例如，英国专利申请 GB2239691A 公开了一种主动控制，其使用压力传感器来测量燃烧室内的压力波动，一伺服阀用来调整用于燃烧的燃料的量。授予 Poinsot 等的美国专利 No. 5, 145, 355 公开了一种检测燃烧不稳定性和作为该不稳定性的函数调整射入燃烧室的燃料流量的装置。授予 Brough 的美国专利 No. 5, 575, 144 公开了一种检测燃烧器内的压力波动，计算一抵销脉冲来抵销一主导的压力波动，并周期地从燃烧器中抽取一定量的空气来产生抵销脉冲的系统。但是这些参考文献都没有公开一个用于燃烧预混合的气体燃料/空气混合物的燃烧器的系统。

20 授予 Kondou 等的美国专利 No. 5, 445, 517 公开了一种燃烧器用适配静噪系统。该系统计算燃烧噪音的反相位信号，并将该信号输入给气流控制阀，从而在气体燃料中产生压力变化，实现燃烧室中的压力变化以通过相位干涉抑制燃烧噪音。该系统使用一在气流控制阀和燃烧室之间的混合室。但是，所有的燃料都流过气流控制阀。

30 授予 Stickler 等的美国专利 No. 5, 349, 811 公开了一种减少 NO_x 污染物产生的系统。该系统“调整”向燃烧器的燃料的供给率以产生燃烧器的空气输入波动和燃烧器内的流量的波动，这增强了在整个燃烧室内的燃料/空气均匀性，减小了适于形成 NO_x 的条件。但是，Stickler 没有公开这种系统用于燃烧预混气体燃料/空气混合物的燃烧器，而是将预混合作为一种可能的

选择。

发明内容

本发明的目的是提供一种提供预混合的气体燃料/空气混合物的装置，
5 该混合物具有临时调整的理想配比，即燃料与空气的比值。

本发明的另一目的是提供一种控制燃烧预混合气体燃料/空气混合物的
燃烧器中的燃烧不稳定值的装置。

本发明的再一个目的是提供一种控制燃烧预混气体燃料/空气混合物的
燃气轮机的燃烧器中的压力波动值的装置。

10 本发明的又一目的是提供一种可控制燃烧不稳定值而又不显著增加燃
烧器内的 No_x 产生率的装置。

根据本发明的第一个方面，本发明提供一种用于具有气体燃料供给器和
燃烧气体燃料和空气的混合物的燃烧器的系统的装置，燃烧器内有一压力和
一放热率，压力值和放热率值中的至少一个是变化的，该装置包括：燃料致
15 动器，接收来自气体燃料供给器的气体燃料流，并响应一指令信号以一第一
调整的流率提供一第一调整的气体燃料流；响应燃烧器内的压力值和放热率
值中的至少一个的变化的装置，用于提供一指令信号给所述燃料致动器以减
少燃烧器内的压力值和放热率值中的至少一个的变化；其中，所述装置还包
20 括：压力致动燃料阀，接收所述第一调整的气体燃料流，并响应所述第一调
整的气体燃料流的压力，以第二调整的流率提供第二调整的气体燃料流；预
混合器，接收所述的第二调整的气体燃料流，混合所述第二调整的气体燃料
流和空气，形成气体燃料和空气的混合物，并提供该混合物给燃烧器。

根据本发明的第二方面，用于具有气体燃料供给器和燃烧器的系统的燃
料系统包括：一燃料致动器，用于接受气体燃料，并根据一控制器来的指令
25 信号以一调整的流率供给气体燃料；还包括一预混合器，用于接受来自致动
器和另一来源的气体燃料，使得来自致动器的具有调整的流率的气体燃料只
是流入预混合器中的燃料流的一部分。预混合器混合燃料和空气，并将混合
物提供给燃烧器。

根据本发明的第三方面，用于具有气体燃料供给器和燃烧器的系统的燃
30 料系统包括：一燃料致动器，用于接受气体燃料，并根据一控制器来的指令
信号以一调整的流率供给气体燃料；还包括一压力致动的燃料阀，其接受来

自致动器的具有第一调整的流率的气体燃料，并相应提供具有第二调整流率的气体燃料，还包括一预混合器，用于接受来自压力致动燃料阀的气体燃料，混合燃料和空气，并将混合物提供给燃烧器。

5 根据本发明的第四方面，提供用于具有燃料致动器的系统的控制器，该燃料致动器用于接受气体燃料和一指令信号，并根据该指令信号以一调整的流率提供气体燃料给一预混合器，该预混合器用于接受来自燃料致动器的调整的燃料流，混合燃料和空气，并将混合物提供给燃烧器。该控制器包括：确定燃料致动器的致动的装置，该致动使得致动器以调整的流率供给气体燃料；以及产生表示所述的燃料致动器的所述致动的指令信号的装置。

10 此处使用的调整一词不包括准稳定操作，例如在燃气轮机中广泛使用的用于根据燃气轮机的工作状态的改变来改变给燃烧段的燃料流率的操作。燃料流率的改变一般发生得非常慢，通常需许多秒甚至几分钟。而本发明的调整的燃料流率则以较快的周期变化，通常为几百 Hz，但不限于此。

15 虽然利用燃料流率调整提供给燃烧器的系统是公知的，但到目前，在燃烧之前混合这方面，这样的系统将所有的燃料经过流量控制阀供给混合室。虽然这有利于保证充分的控制能力和流入混合室的流率的空间的均匀性，但其缺点是需要非常大的阀门。这样的阀门可能无法提供所需的调整量和频率。但是，已经确定不需将所有的进入预混合器的燃料流都进行调整，即只需一部分燃料流具有调整的流率。在一实施例中，例如调整的燃料流率包括
20 只占进入预混合器中的总燃料流的极小的部分。在其他实施例中可使用依次减小的总燃料流比率，例如 1/3, 1/5, 1/10, 1/20, 1/50。使用依次减小的比率使得例如可以使用较小的快速的反应，较轻的重量，或较低的能量消耗的致动器阀门。

25 附图说明

从下面结合附图的描述中本发明的进一步目的和其它优点将变得显而易见，其中：

图 1 是带有本发明控制系统的优选实施例的示意图的局部剖去的燃气轮机发电厂的侧视图；

30 图 2 是预混合燃料嘴沿图 3 的 2-2 线局部被剖去的侧视图与图 1 的控制系统的最佳实施例中使用的气体燃料致动器、控制器和传感器的示意图；

- 图 3 是图 2 的预混合燃料嘴沿图 2 的 3-3 线被剖开的截面图；
- 图 4 是可用于图 1 的控制系统的致动器阀门的侧视图；
- 图 5 是图 1 所示的燃气轮机发电厂的燃烧器部分的压力波动值的示意图；
- 5 图 6 是在典型的燃烧不稳定时期的燃烧器压力波动值的另一示意图；
- 图 7 是图 1 的燃气轮机和可用于图 1 的控制系统的压力致动燃料阀的局部被剖去的侧视图；
- 图 8 是图 2 的预混合燃料嘴和图 7 压力致动燃料阀的侧视图沿图 3 的 2-2 线局部被剖去的侧视图；
- 10 图 9 是机械的、燃料压力致动的提升阀的截面侧视图；
- 图 10 是图 2 的预混合燃料嘴沿图 3 的 2-2 线局部被剖去的侧视图和与一安装在预混合器内的燃料喷射辐条连通的压力致动燃料阀的侧视图；
- 图 11 是图 10 的压力致动燃料阀的截面侧视图；
- 图 12 是图 2 的控制器执行的控制算法的流程图；以及
- 15 图 13 是具有和不具有图 1 的控制系统的燃烧器压力的波动值的示意图。

具体实施方式

本发明此处公开的是用于图 1 所示的燃气轮机发电厂的最佳实施例。燃气轮机发电厂 20 包括一燃气轮机 22，一动力涡轮和发电机 26，一燃料系统

20 30 和一燃气轮机控制器 34。燃气轮机在燃气轮机控制器 34 的控制下接收来自燃料系统 30 的燃料，并燃烧该燃料，从而驱动动力涡轮和发电机 26。

燃气轮机 22 包括一压缩机 36，一燃烧段 38 (为了清楚局部剖去) 和一涡轮机 40。燃烧段 38 一般包括多个，例如 16 个预混合器 (用预混合器 44 表示) 和一燃烧器 48。预混合器 44 可绕燃烧段 38 的上游端周向间隔。燃烧器 48

25 优选为环形，位于预混合器 44 的下游。预混合器接收和混合来自压缩机 36 的压缩空气 50 和燃料，燃料由多个燃料管线 52 从燃料系统 30 提供。预混合器 44 理想地提供一混合物进入燃烧器 48，该混合物基本为均匀的，并在燃烧器燃烧。向燃烧器 48 提供均匀的混合物有助于降低燃烧器内 NO_x 的产生率。

30 燃料系统 30 可包括一气体燃料供给器 100 和一分配网络 102，其将燃料供给多个燃料管线，其由第一燃料管线 104 和第二燃料管线 106 表示。每

个燃料管线 104, 106 可包括一调节器 108, 110 和一计量器 112, 114。调节器 108, 110 可以是阀门, 例如伺服阀, 通过信号线 116 电连接至燃气轮机控制器 34。计量器 112, 114 可以是流量计, 例如涡轮流量计, 其通过信号线 117 电连接至燃气轮机控制器 34。第一和第二燃料管线 104, 106 与多个
5 燃料管线 52 连接, 燃料管线供燃料给预混合器 44。

燃气轮机控制器 34 提供指令调节器 108, 110 的电信号, 从而通过调节器 108, 110 建立燃料流率。而这些流率建立通过燃料管线 104, 106 的平均燃料流率, 该混合物的平均燃料与空气比提供给燃烧器 48。计量器 112, 114 向燃气轮机控制器提供指示提供调节器 108, 110 的实际燃料流率的电信号。
10 通过调节器 108, 110 的流率一般是准稳定的, 这意味着流率的变化通常非常慢, 通常经过许多秒或甚至几分钟。

第二燃料管线 106 还包括一燃料致动器 130, 其调整通过第二燃料管线 106 的燃料流率。燃料致动器可包括一阀门, 例如一“开/关”阀, 和一阀门驱动器 132, 该驱动器通过信号线 136 电连接至燃气轮机控制器 34。尽管没
15 有限制, “开/关”阀可包括一电磁阀, 其具有销/孔结构。实际上, “开/关”阀也可包括一比例阀, 其经过改装可工作在开/关状态, 即使阀尽快地完全打开和完全关闭。参见图 4, 在该替代方案中, 致动器可包括一 D633 滑柱和衬套阀 300, 一线性电机 302, 和阀电子驱动器 132, 均可从 MOOG 买到, 还包括一歧管。阀电子驱动器用于操作作为开关阀的阀门。

20 混合物中的燃料与空气比值优选为稀态的, 更优选刚好高于稀熄火极限。该比值可保证稳定的燃烧, 有助于降低燃烧器内的 NO_x 产生率和产生量。然而, 正如在背景技术描述中所述的, 该比值会造成燃烧不稳定。从而燃烧压力值的波动会增加热释放率的波动值, 反之亦然。燃烧不稳定性引起燃烧器内的压力值的大的波动。

25 参见图 5, 图表 118 具有曲线 119, 说明这种波动的峰-峰值可在 20 磅每平方英寸 (psi) 左右。参见图 6, 图表 120 具有曲线 121, 说明波动值可由多个频率分量表示, 它们彼此具有不同的幅值。具有最高幅值的频率分量通常频率范围较窄, 此处称为波动的基本频率范围。

30 再参见图 1, 燃气轮机 22 还包括一传感器 122, 其提供表示存在燃烧不稳定的信号。在该优选实施例, 传感器 122 是一压力传感器, 其检测燃烧器内的压力, 当然也可使用其他类型的传感器, 包括但不限于热传感器, 光

传感器，或振动传感器。一热传感器或一光传感器将产生一表示燃烧器中的放热率或其变化的信号，而一振动传感器产生一表示燃烧器内压力或放热率或其变化的信号。压力传感器可包括一探针 123，位于燃烧器 48 内，和一远距转换器 124，其通过信号线 126 电连接至燃气轮机控制器 34。压力传感器提供具有一幅值的信号，在图表 128 中简要地表示了一段时间内的该值，其表示燃烧器内的压力值的波动。

燃气轮机控制器 34 优选包括一处理器 150，一存储器 152，一输入/输出 (I/O) 部分 154 和一总线 156，总线具有连接器 158 与每个控制器 134 的各部件连接。

10 燃气轮机控制器根据线 126 上的来自传感器 122 的信号在线 136 上提供一指令信号。指令信号指令致动器 130，以产生通过燃料管线 106 进入预混合器 44 的调整的燃料流率。而预混合器提供具有暂时的调整的理想配比的混合物给燃烧器 48。燃料流率的调整有效地改变了燃烧器压力值的波动和热释放率的波动之间的时间关系，即相位关系。该改变引起波动之间耦合的降低，从而使得燃烧器压力波动值降低。

在一实施例中，指令信号具有一代表命令阀门周期地“开”140 和“关”142 的指令的幅值，在图表 138 中简要表示在一段时间内的该值。这引起阀门周期调整燃料流“开”和“关”，“开”对应于通过阀门的最大流率，“关”对应于通过阀门的最小流率。“开/关”周期 144 的长度优选大致等于燃烧器压力值波动的周期 146 的长度。控制器相对于燃烧器压力值的波动的起始时间 148 优选地推迟或相移“开/关”循环的起始时间 147。时间推迟或相移的值可选择使得最大地减小燃烧器压力波动的值 149。调整优选具有大约 50% 的工作循环，即周期 146 的约 50% 为“开”，50% 为“关”。该工作循环提供类似于燃烧器压力值的典型波动的对称性。这也导致通过致动器 130 的平均燃料流率，即通过“开”的致动器燃料流率的一半。

参见图 2 和 3，每个预混合器 44 可包括一切向空气进入预混合燃料嘴 56。这种喷嘴是公知的。优选的预混合燃料嘴 56 可包括一个或多个空气通道 58，60，一混合室 62，和多个燃料管 66。空气通道和混合室可由两个具有彼此分开的纵向轴线 72，74 (图 3) 的部分柱体 68，70 形成。空气通道 58，60 分别具有接收来自压缩机 36 (图 1) 的压缩空气 50 的入口 76，78 (图 3)，和与混合室 62 连通的孔 80，82 (图 3)。每个燃料管 66 具有与多个燃料管线

52 之一连通的入口 84 和多个燃料喷射孔 86，例如 15 个，喷射孔 86 与混合室 62 连通。主燃料喷射孔设计的优选提供好的燃料/空气混合。燃料喷射孔 86 可具有不同的横截面积，例如 15 个中的 7 个的截面积是其他 8 个的截面积的约 1.5 倍，以改善混合和便于吐出火焰。每个燃料管 66 可接收流到预混合喷嘴 56 的总的燃料流中的相同的比例，尽管这样的比例不是必须的。

预混合喷嘴 56 还包括一中心体 90，定位的纵向轴线 92 在混合室中径向对中，还包括一出口 94(图 2)。中心体 90 优选为带有封闭的下游端 98 的锥体。在混合室 62 中空气和燃料混合，混合物在出口 94 离开喷嘴。

燃料应当在混合室 62 中经过足够长的时间，以保证其与空气充分混合。10 优选时间长度为至少 3 或 4 毫秒，尽管更少的时间，例如 1 或 2 毫秒在某些实施例也是足够的。压缩空气优选在从空气通道入口 76, 78 到预混合喷嘴 56 的出口 94 的运动过程中用约 8 毫秒的时间。

如上所述，燃料致动器提供调整的燃料流率给预混合器。需要在预混合器中将具有调整流率的燃料与空气混合至与在预混合器中没有调整燃料流15 率的燃料与空气的混合基本同样的程度。这限制了在预混合器出口处的燃料/空气比值的变化，并导致了低的 NO_x 产生率。由于这个原因具有调整流率的燃料最好通过一个或多个燃料喷射孔喷入混合室。可设置一喷射歧管 330 以提供到喷射孔的流动通道。

另外优选以调整的燃料流保持控制预混合器的出口处的空间平均的燃20 料/空气比值的暂时特性的能力。获得良好的空间燃料/空气混合并保持燃料/空气比值的暂时变化的控制的能力可使得致动器的能力达到最大，而不会增加 NO_x 的产生。

在一个实施例中，喷射歧管 330 直接连通两个喷射孔。这两个喷射孔在25 或靠近喷射孔阵列的中心，以平衡以下两方面：完全混合燃料和路过的空气的需要，和防止这些不稳定的燃料流冲击硬表面例如中心体的需要。

为了最小化燃料可压缩性的影响，优选将喷射孔和燃料致动器 130 的实际位置之间的喷射歧管 330 的体积减至最小。大约总的平均燃料流率的 10-20% 通过该结构的致动燃料系统。这优选地大致对应于以未调整的流率流30 过燃料的喷射孔阵列部分中的这样尺寸的两个孔通过的燃料量。然而，也可用更大或更小的比例。

一般需要将第一致动器靠近预混合器，以便将致动器和调整的燃料流喷

射进预混合器的点之间的距离(这可将燃料管线的体积减至最小)减至最小。因为气体燃料是可压缩的,燃料流率在致动器的下游调整减小,即变得平滑。减小值随着离致动器的距离的增加而增加。将致动器和预混合器之间的距离减至最小,可最小化该减小值,从而有助于保证预混合器接收所需的调整的燃料流率。同样致动器和预混合器之间的燃料管线优选尽可能地直。

使致动器仅供给一部分总的燃料流率给预混合器的优点是减小了通过致动器的平均流率,从而使得致动器容易设计和制造,而仍然减小了燃烧不稳定性。

在另一实施例中,燃料致动器 130 可包括一比例阀,例如一 D633 滑柱和衬套阀 300,一线性电机 302,和阀电子驱动器 132,均可从 MOOG 买到,还包括一歧管。在此实施例中,燃料流率的调整可选择与燃烧器压力的波动值成比例。例如,发给阀门的指令可按照下式:

$$\text{指令} = k_1 + k_2 * (P(t-T)),$$

其中 k_1 表示 dc 流分量,

15 k_2 表示增益因数,

$P(t)$ 表示燃烧器压力波动值,

T 表示时间或相位延迟。

例如, k_1 可选择的对应于理想的时间平均流率, k_2 可选择的提供最大的权限同时避免阀门的饱和。 T 可选择得使 $P(t)$ 最小。

20 其他合适的致动器和调整也可使用,包括但不限于正弦调整燃料流率。

在一些实施例中,将致动器靠近预混合器是不现实的。这是因为第一燃料致动器一般不适于涡轮机中的条件,例如温度。将致动器置于涡轮机之外,可导致致动器和预混合器之间相当的距离。

因此,参见图 7 和 8,燃料系统可进一步包括第二燃料致动器 310,其位于第一致动器 130 和预混合器 56 之间。第二燃料致动器 310 有助于减小有关燃料向预混合器的流率的气体可压缩性的影响。第二致动器优选安置得尽量靠近预混合器和燃料喷射点(可能在涡轮机的中心)。第二燃料致动器可以是“开/关”阀,优选为一机械提升阀 320(图 8, 9),由第一致动器的下游管线中的气体的压力致动。

30 参见图 9,提升阀 320 具有阀体 340,阀座 342 和可动销 344。阀体 340 具有通道 346,其入口 348 与上游燃料管线 52 流体连通,其还有一出口 350。

通道 346 提供气体燃料的流路。阀座 342 压入阀体靠近出口。销 344 具有一头部 352 和一轴 354。头部的形状与阀座相配。轴延伸通过阀体中的孔。轴具有螺纹端，其接收一螺帽 356。一弹簧 358 位于阀体 340 和螺帽 356 之间。

提升阀 320 还包括联接器 360 和梢 362。联接器具有两个开口端 364，
5 366。一端 364 焊在阀体上，另一端 366 与梢螺纹配合。梢为管形，其带有一壁端 368，一空腔 370 和一出口 372。壁端 368 限制销的运动。梢还包括多个周向间隔的槽道 374，靠近壁端设置，与空腔 370 流体连通。一旦梢旋拧在联接器上，梢和联接器焊在一起，防止梢和联接器的相对运动。

提升阀的操作如下。弹簧对螺帽施加一力，给销的头部一向阀座的力（即
10 在关闭的方向）。通道中气体的气体压力导致在头部施加一与弹簧施加的力相反的力（即开的方向）。当关闭的力大于气体压力（打开的方向），销的头部与阀座结合，从而堵住通道出口，阻碍流道，防止燃料流动。当气体压力（打开的方向）超过关闭方向的力时，销的头部从阀座上离开，从而打开流道。需要打开流道的压力值通常称为“开启”压力。

提升阀一般在部分组装后而在完全组装好之前校准。在一典型的情况
15 中，阀座和销安置在阀体中，弹簧和螺帽安置在轴上。然后调整螺帽的位置，以达到一合适的开启压力。调整螺帽的位置改变弹簧力的值。一种粘结剂，例如 LOCTITE 高温粘结剂用于将螺帽固定在轴上。部分组装的提升阀然后插入并焊接在上游的燃料管线上。梢旋拧在联接器上，联接器焊接在阀体上。
20 然后测试提升阀确定其流量。如果流量太高，或提升阀有共振问题，调整止动部的位置以限制销的冲程。调整梢相对于联接器的位置，使得将止动部位于合适的位置。但是，当开启时，阀座和销头部的间隙优选足够大，使得预期的污物可通过提升阀。然后将梢焊接在联接器上。但是，可以替换内部弹簧和螺帽的结构，以便可调整开启压力而不拆卸提升阀。
25 在至少约 500psi，即至少约两倍于最大的预期燃烧器压力 250psi。供给压力优选约 600psi。

阀座角和销的直径优选可提供所需的主导系统压力下的流量，并提供合适的冲程长度和泄漏特性。提升阀的流量主要取决于阀座的角度和销的直径。阀座的角度优选足够大以防止销因摩擦而粘在阀座上。

30 因为涡轮机内温度较高，上述的提升阀部件优选包括铬镍铁合金。但是，在一些实施例中，可在阀/提升头未启动时，用通过提升头的氮气冷却部件。

参见图 10, 另一实施例包括与上述大致相同的部件, 只是调整的燃料流可从安装中心体的辐条 400 喷射进预混合器的混合室中。具有燃料喷射辐条的喷嘴通常用于燃料预混合器。授予 Snyder 等人的美国专利 No. 5, 461, 865 和授予 McCoomb 等人的美国专利 No. 5, 479, 773 公开了两个例子。该实施例可以使用也可不使用提升阀 410。提升阀 410 大致与上述的提升阀 320 一样, 只是稍不一样。

参见图 11, 在图 10 的实施例中, 梢 420 优选具有多个周向和轴向间隔的出口 422, 424, 426, 428, 其与梢 420 的空腔 430 和预混合器 56 的混合室 62 连通。出口 422, 424, 426, 428 在辐条端部从下游端 432 测量位于四个不同的轴向位置 (75%, 50%, 25%, 0)。然而优选地它们位于三个不同的方位角的位置。两个中心孔 424, 426 的取向使得径向远离中心体地喷射燃料, 优选彼此尺寸一样, 流动面积为 0.066sq. in。最上游孔 422 比中心孔大 50% (0.099sq. in), 位于离开中心体径向的方位角为 +90° 的位置。最下游孔 428 比中心孔小 50% (0.033sq. in), 位于离开中心体径向的方位角为 -90° 的位置。

有许多可能的实施例来调整给燃烧段 38 的燃料流率。例如, 调整的燃料流率可提供给一个或多个预混合喷嘴。另外, 调整的燃料流率可提供给每个喷嘴的燃料管中的一个或多个。另外, 一些接收调整的燃料流的燃料喷嘴可接收比其他的喷嘴更多的调整燃料流。尽管如此, 致动器 130 优选能提供需要的调整的燃料流率而不引起大的压力降以致于耗竭可获得的燃料供给压力。在合适的情况下, 致动器可包括多个致动器, 例如多个电磁阀平行工作。在一些实施例中, 类似于用于汽车的燃料喷射器的那些致动器的致动器可用来代替上述的电磁驱动器。但是, 汽车燃料喷射器一般不能使燃料流率达到向上述的电磁阀那样的高, 因此需要多个这样的燃料喷射器以便提供需要的调整的燃料流率。当然, 需要不止一个燃料管线来向燃烧段调整和/或传递需要的调整的燃料流率。

存储在存储器 152 中的程序包括控制算法, 其指导燃气轮机控制器 34 来处理传感器信号 122, 产生给燃料系统 30 的合适的指令信号。I/O 部分 154 可包括一滤波器, 用于过滤传感器信号的值。滤波器衰减大大高于和大大低于基本频率范围的频率分量的值。例如, 在该优选实施例中, 滤波器包括模拟带通滤波器, 其在频率为 100Hz 和 300Hz 时提供 3 分贝 (dB) 的衰减。

参见图 12, 简化的流程图表 170 说明在优选实施例中燃气轮机控制器 34 的控制算法的执行步骤。该算法优选在例如约 2.59 毫秒(msec)的大致周期间隔进行。该算法在标为“开始”的步骤 172 开始。在指令步骤 174, 算法通过一模数(A/D)转换器开始测量滤波的传感器信号的值, 以获得那时的幅值的数字表示。

在步骤 176, 178, 180, 该算法执行增加相位位移。该算法使用移相器, 其包括一系列(1 至 N)存储单元, 总称为缓存区, 位于存储部分 152。每个存储单元存储一值, 示意性地表示为值(单元 1)至值(单元 N)。缓存区的存储单元的总数 N 根据算法的执行速度来选择。以提供合适的相移。这种移相器是公知的。在步骤 176, 最后存储单元的值移出缓存区, 完成那个值的相移。在步骤 178, 所有其他以前存储在缓存区中的值, 移到下一个相应的存储单元。在步骤 180, 算法在第一存储单元存储刚测得的值。在最佳实施例中, 相移的值在执行算法之前试验确定。但是, 确定合适的相移值的其他合适方法也可使用, 包括但不限于自适应算法。

在步骤 182, 184, 186, 根据在步骤 176 最近完成的相移值, 算法产生一指令。步骤 182 确定该值是否大于一阈值, 例如 0。如果是, 步骤 184 产生代表“开”指令值的指令信号。否则, 在步骤 186 产生代表“关”指令值的指令信号。步骤 184, 186 可使用一数模转换器来产生指令信号, 随后输出给致动器 130。阈值可以调整使得产生希望的开/关工作循环。如果波动关于 0 对称, 0 阈值可产生 50% 开 50% 关的工作循环。

在步骤 180 算法退出。算法 170 执行一段时间, 步骤 174 产生一系列值, 其总体代表这段时间内经滤波的传感器信号的值。步骤 176, 178, 180 施加一时间延迟或相移给在步骤 174 产生的每个值。根据相移值, 步骤 182, 184, 186 产生一系列指令信号值, 其总体代表该时间内完整的指令信号。

本领域技术人员会明白, 尽管本公开实施例中的控制器包括程序化硬件, 即由计算机的软件执行, 但也可由其他形式代替, 包括硬连线的硬件, 集成电路形式制造的硬件, 稳固设备, 及其组合。应当了解尽管所公开的实施例包括一具有周期采样信号的数字系统, 本发明还可采用具有连续信号的模拟系统, 或数字和模拟系统的组合。另外, 尽管在本最佳实施例中的控制系统采用恒定的增益和预定的相移, 但不排除使用具有可变增益和可变相移的自适应控制系统。另外, 控制器可包括机械结构和电结构。

参见图 13, 图表 190 显示本发明的一些可能的优点。图表 190 有两个曲线 192, 194, 其提供图 2 实施例的信息。其他实施例一般提供略小程度的衰减。实线 192 表示本发明的燃烧器压力的波动值。虚线 194 表示没有本发明时的值。与图 6 的图表 120 一样, 图表 190 中波动值表示为多个频率分量, 5 每个分量的值不同于其他分量。比较曲线 192 和 194, 表明本发明提供基本频率的波动值 10.5psi 的降低。

本发明不论燃料与空气比值如何都提供波动值的降低。

本发明表明预混合与进入燃烧器的燃料流率的调整不相干。预混合器固有的混合不抵消燃料流率的调整, 尽管燃料在预混合喷嘴中的停留时间可比 10 调整时间长。即使在调整的燃料流率包括进入预混合器的总燃料流率中的很小一部分, 例如 1/3, 1/5, 1/10, 1/20, 1/50 时也是如此。递进的小的分数可例如提供使用较小和较快的响应、较轻的重量、或较小的能量消耗的致动器阀门的可能。

尽管本发明参照最佳实施例进行了描述, 本说明书不是用于限制。该优 15 选实施例的各种变形及其附加实施例对本领域技术人员是显而易见的, 正如所附权利要求书中所述的那样。因此, 例如, 尽管本优选实施例公开了本发明的控制燃烧不稳定性的应用, 本发明并不限于此。本发明可采用任何合适的方式。基于发明概念的各种变化和变形仍将落在所附权利要求所限定的本发明精神范围内。

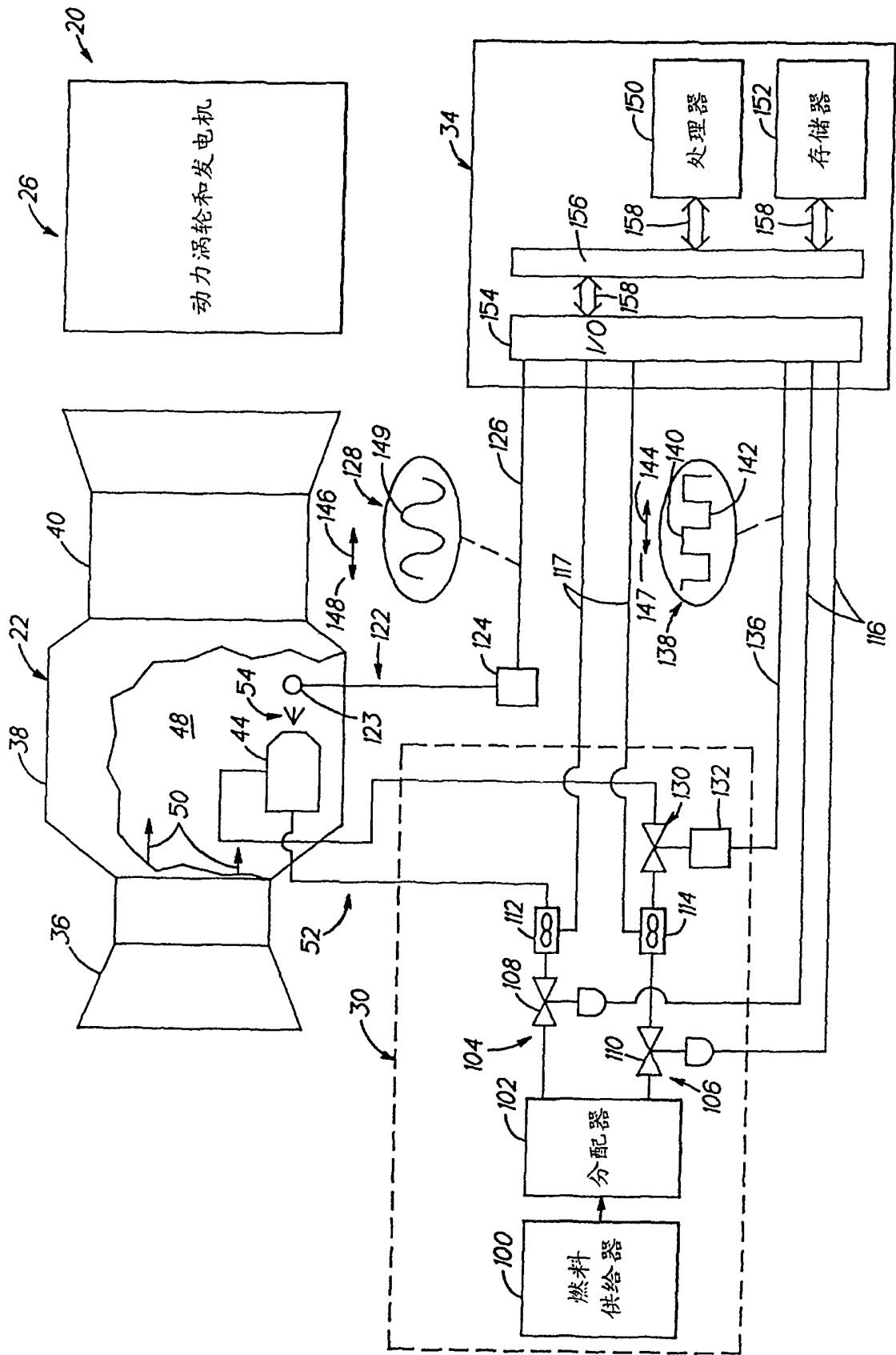


图 1

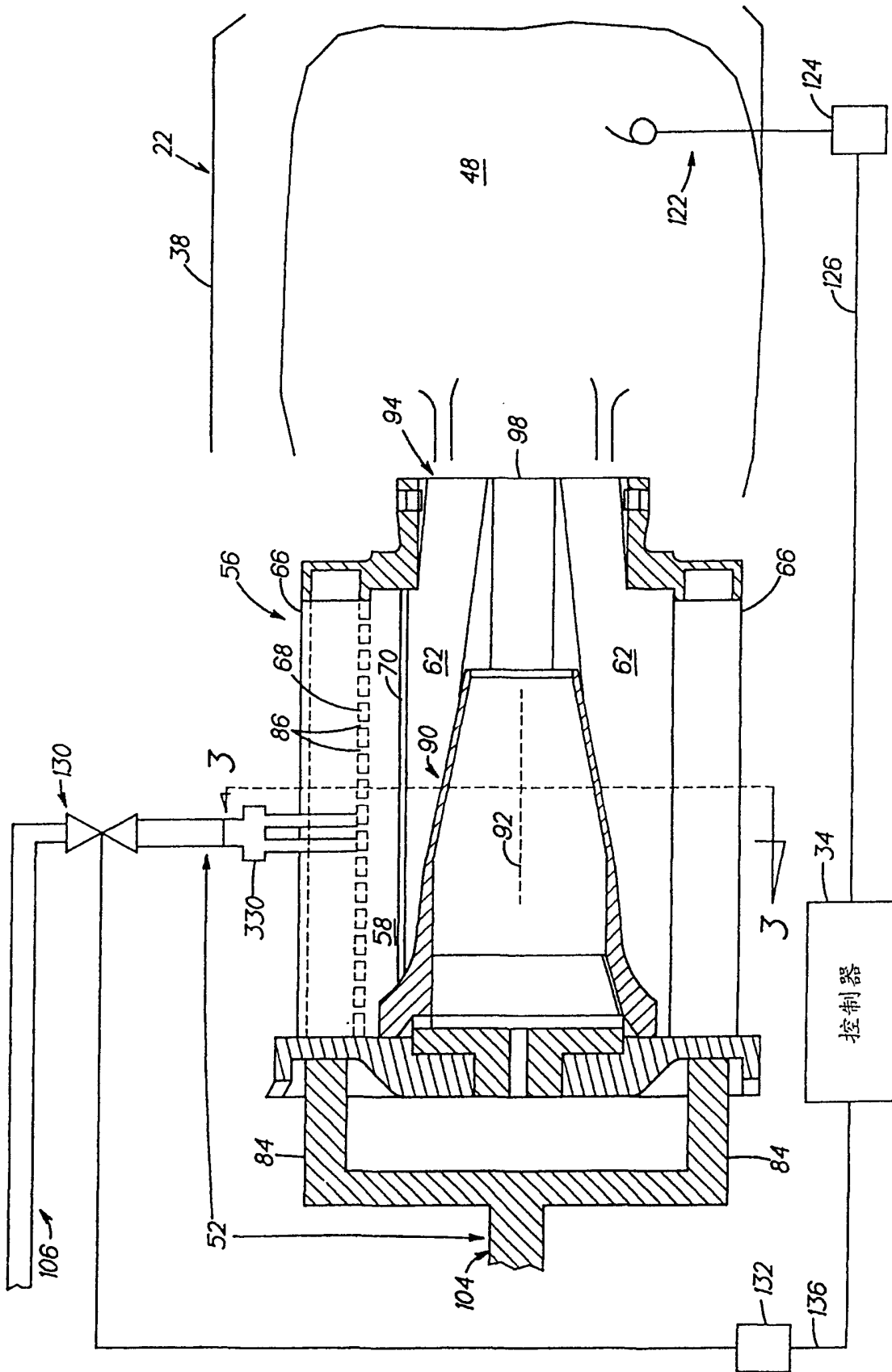
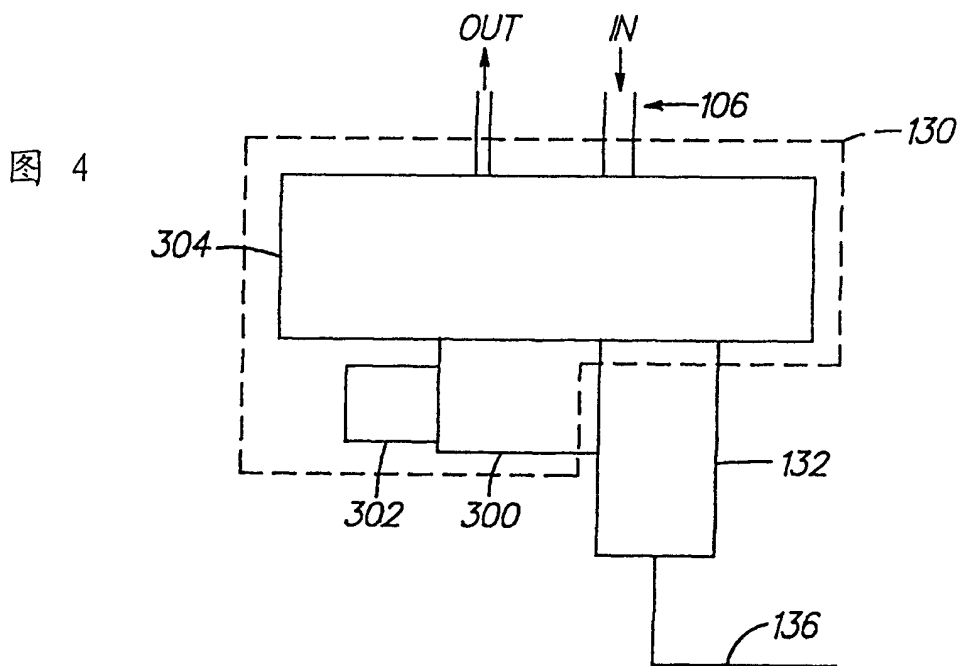
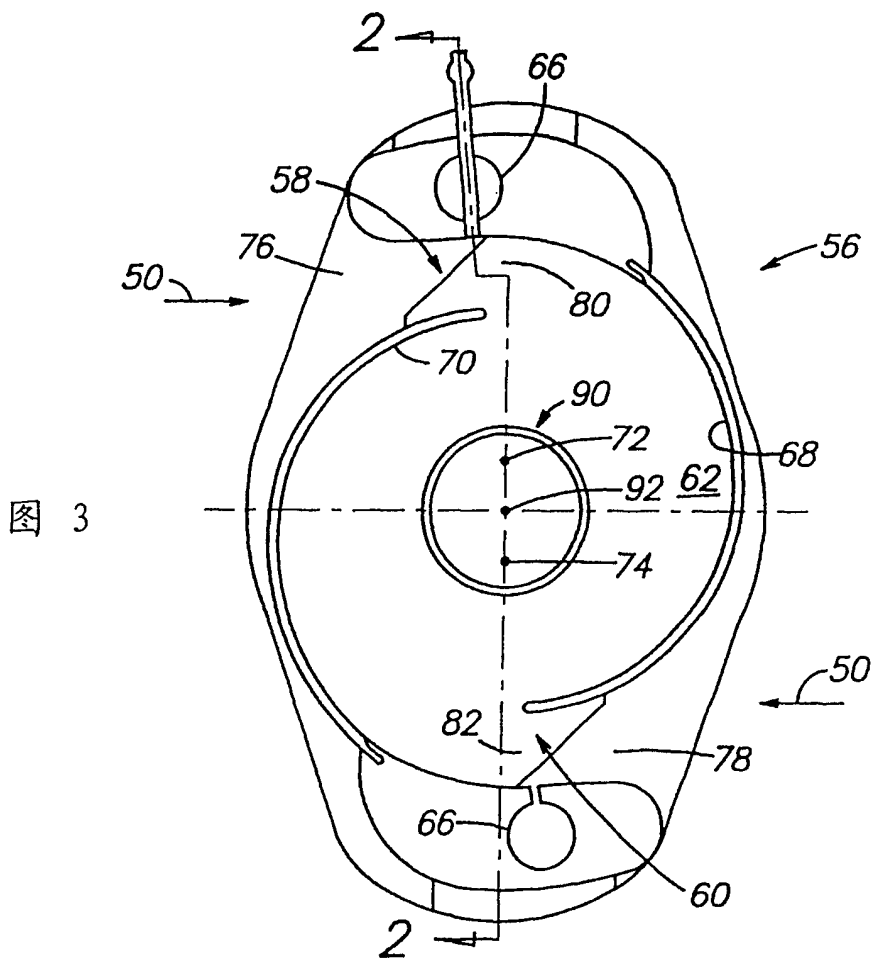


图 2



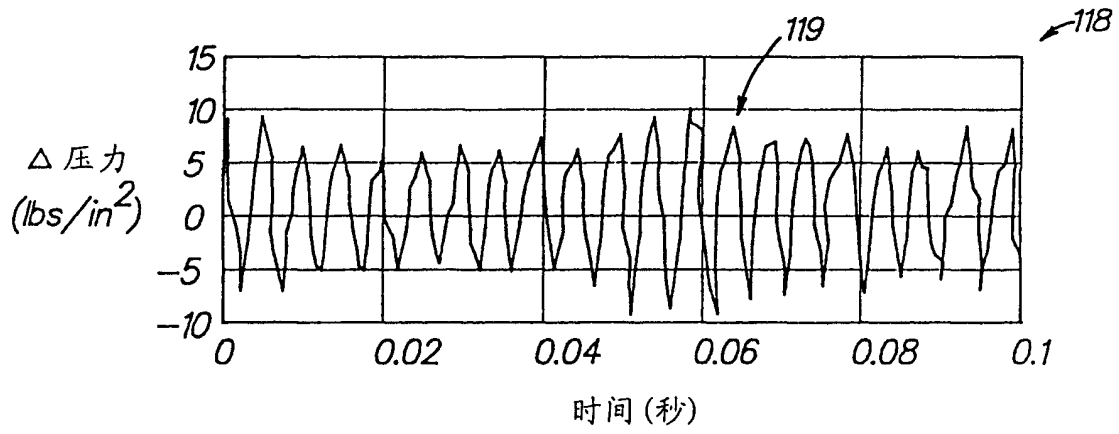


图 5

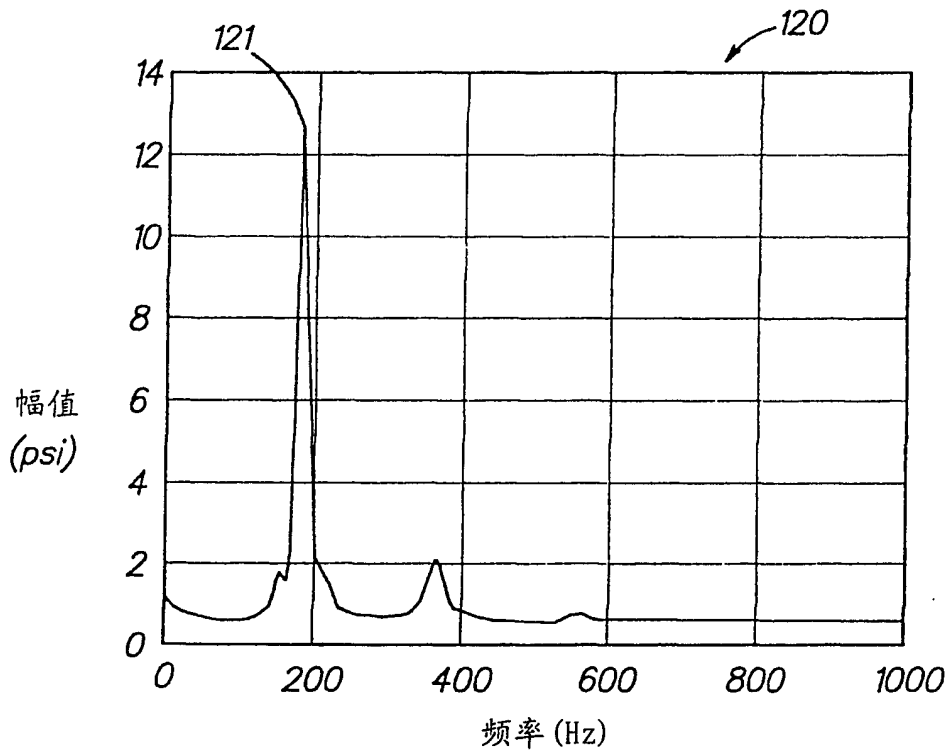


图 6

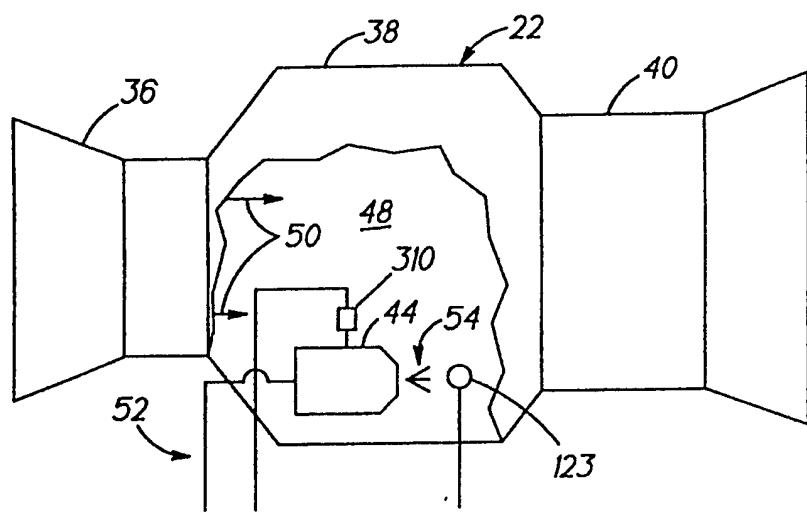


图 7

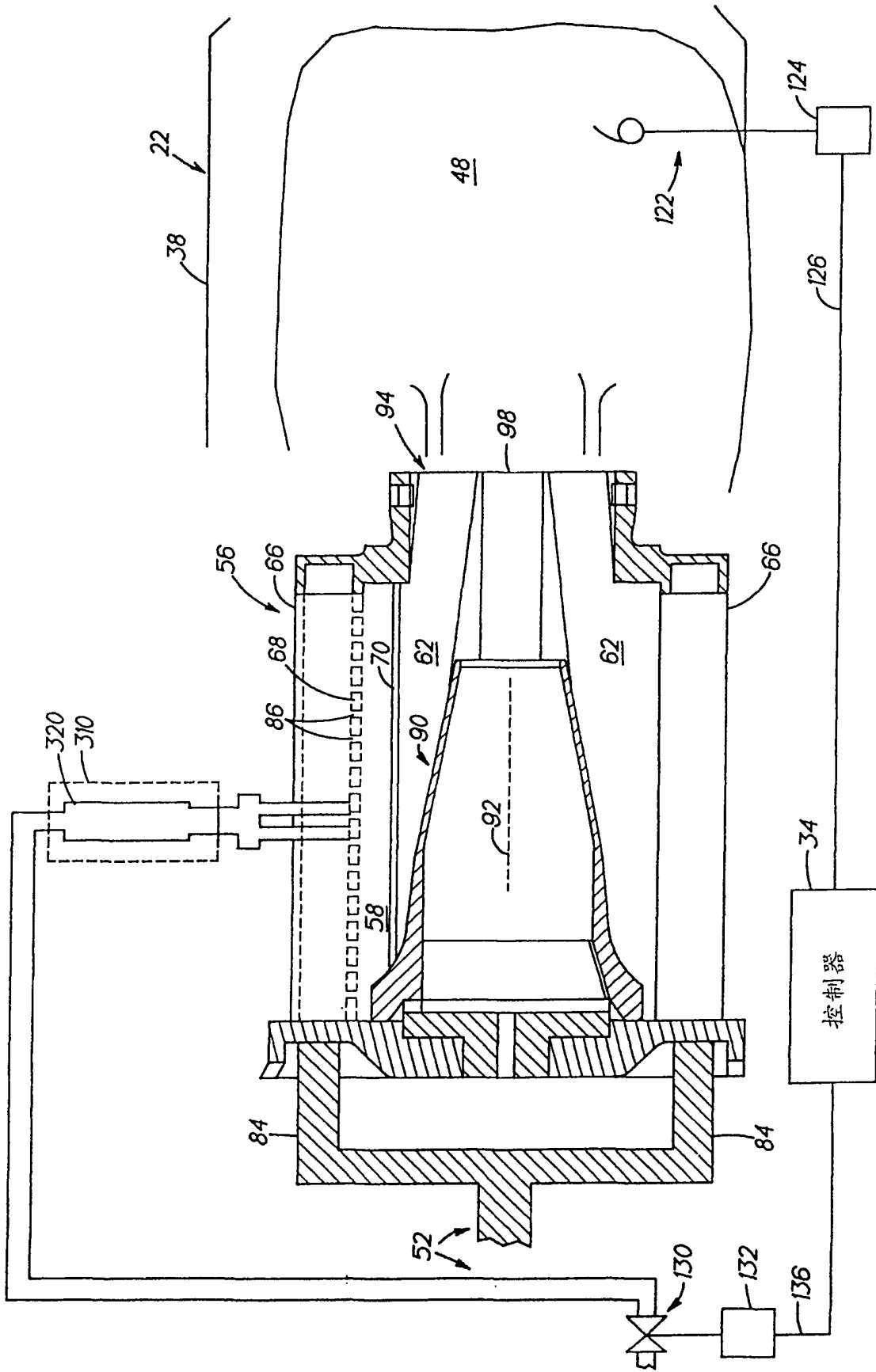


图 8

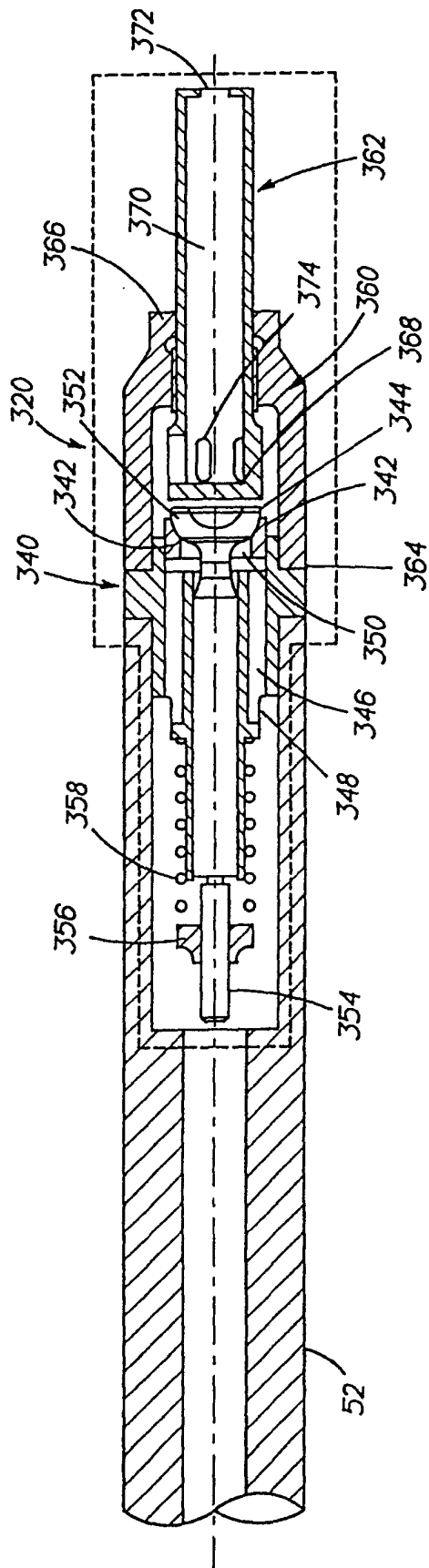


图 9

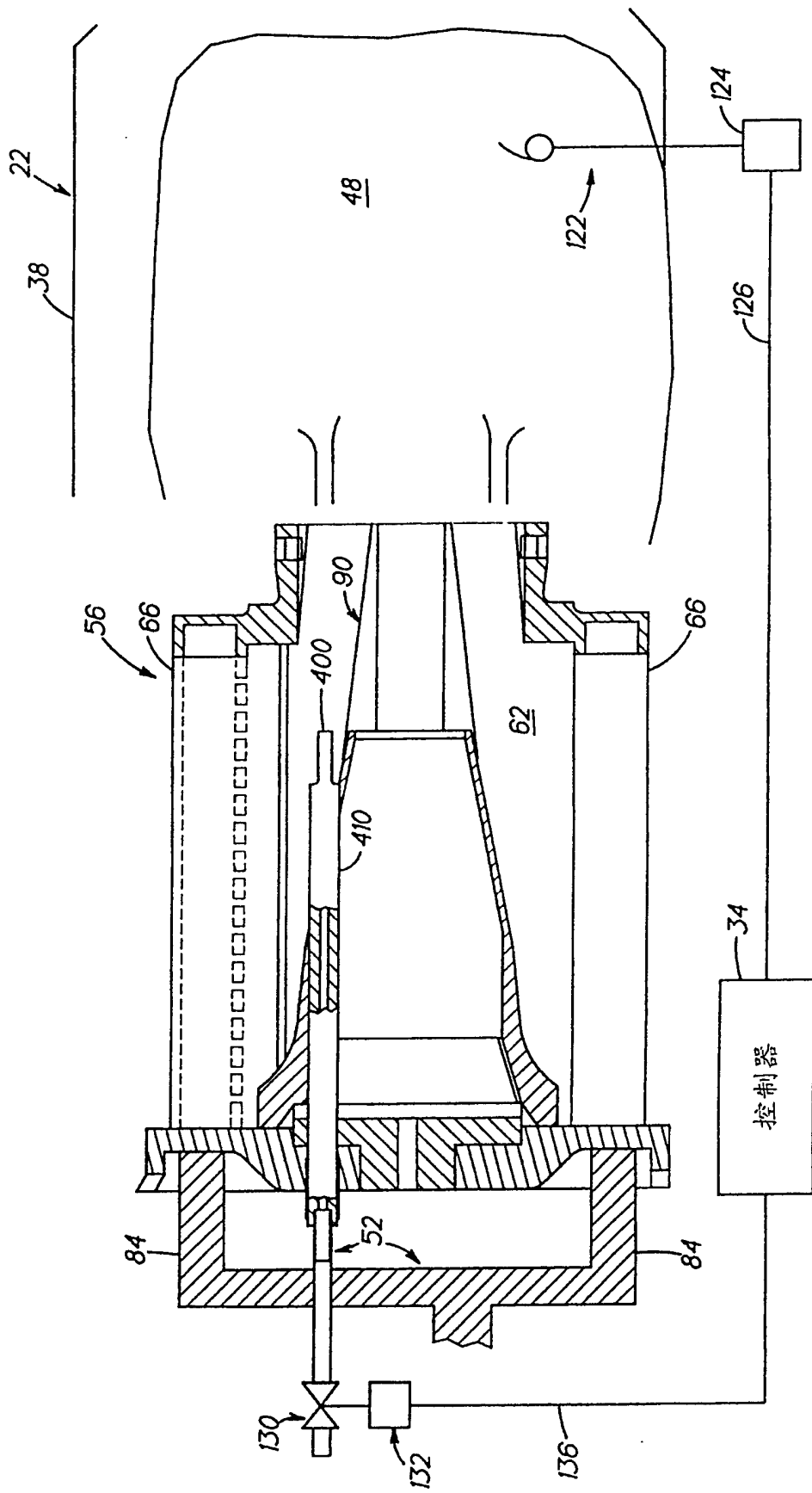


图 10

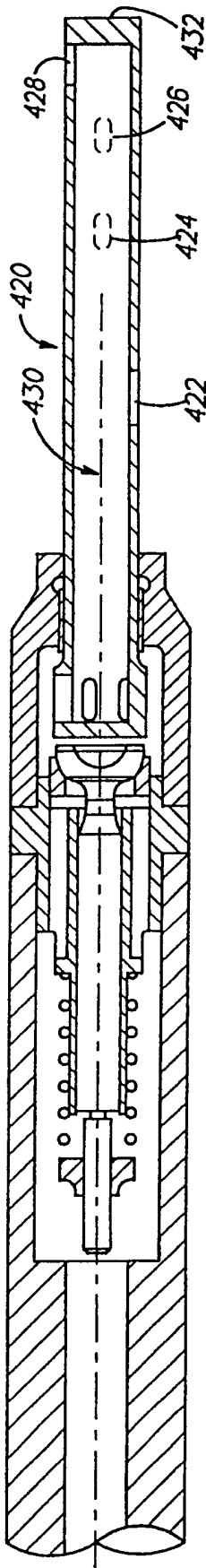


图 11

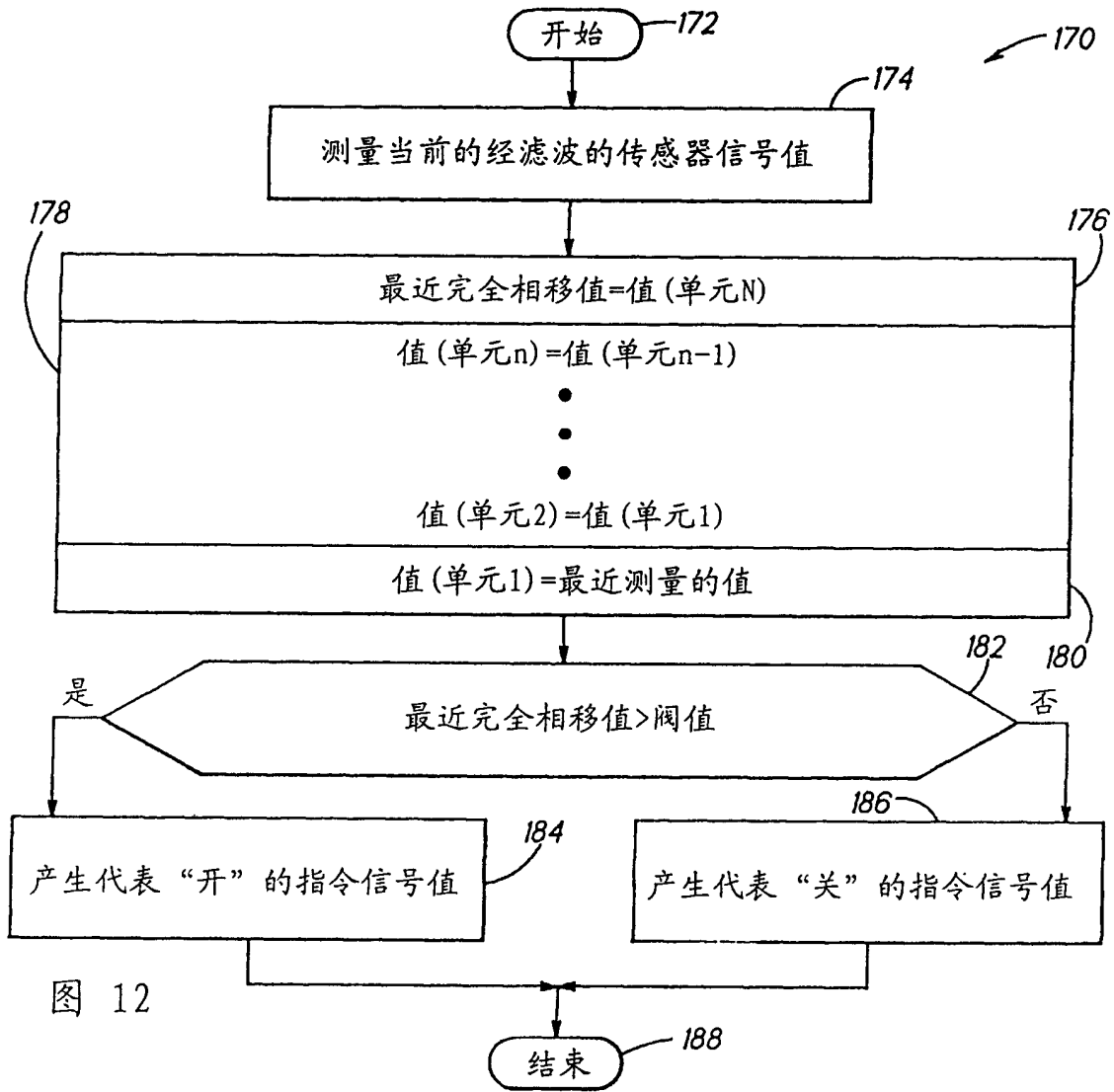


图 12

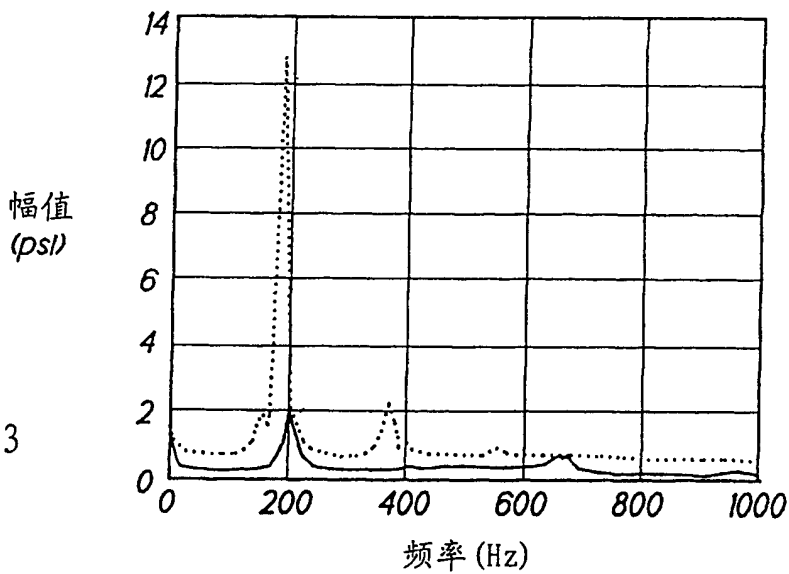


图 13