



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200480025496.2

[45] 授权公告日 2009 年 3 月 4 日

[11] 授权公告号 CN 100465473C

[22] 申请日 2004.8.17

JP2000-65128A 2000.3.3

[21] 申请号 200480025496.2

CN1424519A 2003.6.18

[30] 优先权

US6022005A 2000.2.8

[32] 2003.9.5 [33] EP [31] 03103305.3

CN1275448A 2000.12.6

[32] 2004.4.19 [33] EP [31] 04101604.9

US5823307A 1998.10.20

[86] 国际申请 PCT/IB2004/051472 2004.8.17

US6322060B1 2001.11.27

[87] 国际公布 WO2005/024266 英 2005.3.17

US20030052548A1 2003.3.20

[85] 进入国家阶段日期 2006.3.6

JP8-219230A 1996.8.27

[73] 专利权人 皇家飞利浦电子股份有限公司

审查员 赵永辉

地址 荷兰艾恩德霍芬

[72] 发明人 M·J·弗伍德唐克

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

T·A·M·鲁杰尔

代理人 程天正 陈景峻

R·M·G·里杰斯

J·C·A·穆勒

[56] 参考文献

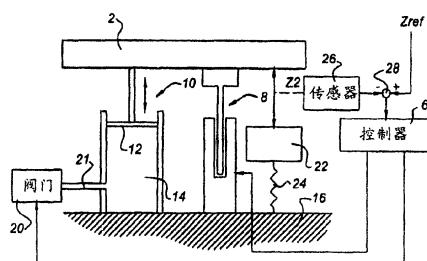
权利要求书 2 页 说明书 13 页 附图 8 页

[54] 发明名称

包括惯性基准质量的用于主动隔振的致动器
装置

[57] 摘要

致动器装置，具有致动器(8)、基准质量(22)、弹簧(24)和第一传感器(26; 42, 43; 32, 36)。该致动器(8)在第一物体(2)和第二物体(16; 54)之间施加力。在使用中，该基准质量(22)通过弹簧(24)被第三物体(16; 56)支撑。该第一传感器(26; 42, 43; 32, 36)生成依赖于该基准质量(22)和该第一物体(2)之间的第一距离(z2; z5, z6; z3, z4)的第一距离信号，并施加到控制器(6)以激励该致动器(8)。



1. 致动器装置，包括致动器（8）、基准质量（22）、在至少一个自由度中具有至少一个预定弹簧特性的第一悬架（24）、和第一传感器（26；42，43；32，36），该致动器（8）被设置成在第一物体（2）和第二物体（16；54）之间施加力，该基准质量（22）被设置成通过所述第一悬架（24）由第三物体（16；56）支撑，并且所述第一传感器（26；42，43；32，36）被设置为生成依赖于所述基准质量（22）和所述第一物体（2）之间的第一距离（z2；z5，z6；z3，z4）的第一距离信号，并且将所述第一距离信号提供给控制器（6）以激励所述致动器（8）。

2. 根据权利要求1所述的致动器装置，其中所述致动器（8）是洛伦兹致动器。

3. 根据前面任何一个权利要求所述的致动器装置，其中所述致动器装置包括用于测量所述第一物体（2）和所述第二物体（16）之间的第二距离（z4）的第二传感器（36），连接到所述第一传感器（26）以生成第一滤波输出信号的第一滤波器（40），和连接到所述第二传感器（36）以生成第二滤波输出信号的第二滤波器，该第一和第二滤波输出信号被应用到所述控制器（6）。

4. 根据权利要求1所述的致动器装置，其中所述致动器装置包括外壳（44），设置成保护所述基准质量（22）和所述第一悬架（24），并且具有设置在所述第一物体（2）和所述基准质量（22）之间的表面，所述第一传感器包括第一子传感器（42）和第二子传感器（43），所述第一子传感器（42）设置成测量所述基准质量（22）和所述外壳（44）的所述表面之间的第三距离（z5），并且所述第二子传感器（43）设置成测量所述外壳（44）的所述表面和所述第一物体（2）之间的第四距离（z6）。

5. 根据权利要求1所述的致动器装置，其中所述第一传感器（26）包括第一子传感器（36）和第二子传感器（32），该第一子传感器（36）被设置成测量所述第一物体（2）和所述第三物体（16；56）之间的第三距离（z4）并生成第三输出信号，该第二子传感器（32）设置成测量所述基准质量（22）和所述第三物体（16；56）之间的第四距离（z3）并生成第四输出信号，在传送到所述控制器（6）之前从所述第三输出

信号中减去该第四输出信号。

6. 根据权利要求 5 所述的致动器装置，包括外壳 (44)，用于保护所述基准质量 (22) 和所述第一悬架 (24)。

7. 根据权利要求 1 所述的致动器装置，包括附加传感器 (32) 和滤波器 (50)，该附加传感器 (32) 设置成测量所述基准质量 (22) 和所述第三物体 (16; 56) 之间的附加距离 (z3) 并生成附加输出信号以用于所述滤波器 (50)，所述滤波器 (50) 设置成提供滤波的输出信号，该滤波的输出信号被发送到所述控制器 (6) 以补偿所述第二物体 (16) 到所述第一物体 (2) 的振动传递。

8. 根据权利要求 1 所述的致动器装置，其中所述第一悬架 (24) 通过第二致动器 (30)、用于测量所述基准质量 (22) 和所述第三物体 (16; 56) 之间的另一附加距离 (z3) 的另一附加传感器 (32)、和设置成从所述另一附加传感器 (32) 接收另一附加输出信号并激励所述第二致动器 (30) 的附加控制器 (34) 来实现。

9. 根据权利要求 1 所述的致动器装置，其中所述第二物体和所述第三物体是同一个。

10. 根据权利要求 1 所述的致动器装置，其中所述第三物体 (56) 通过第二悬架 (57) 被所述第二物体 (16) 支撑，所述致动器被第四物体 (54) 支撑，和该第四物体通过第三悬架 (55) 被所述第二物体支撑。

11. 根据权利要求 1 所述的致动器装置，其中所述致动器装置包括架空吊车控制装置 (4, 62)，用于控制所述第一物体 (2) 的位移。

12. 主动隔振装置，包括根据前面任何一个权利要求所述的致动器装置，并且包括所述控制器 (6) 用于至少控制所述致动器 (8)。

13. 根据权利要求 12 所述的主动隔振装置，包括至少一个空气支架 (10; 10')，用于支撑所述第一物体 (2)。

包括惯性基准质量的用于主动隔振的致动器装置

本发明涉及一种包括惯性基准质量 (inertial reference mass) 的用于主动隔振 (active vibration isolation) 的致动器装置。

图 1 示出了根据现有技术的主动隔振系统。该系统包括有效负载 (payload) 2，其例如可以是光刻机 (lithography machine) 中的计量框架 (metroframe)。速度传感器 4 连接到有效负载 2。可以使用加速度传感器来代替速度传感器。传感器 4 可以是地震检波器 (geophone)。

传感器 4 连接到控制器 6，该控制器 6 有时被称为“架空吊车 (sky hook)”控制器。控制器 6 可以是任何适当的程序控制 (微) 计算机。

然而，在适当的情况下可以使用模拟和数字电路。

在有效负载 2 和“地面 (earth)” 16 之间提供致动器 8。控制器 6 连接到致动器 8 以便为致动器 8 提供合适的控制信号。可以观察到，传感器 4、控制器 6 和致动器 8 之间的连接被显示为实线电路。然而，如本领域普通技术人员所知的，这些连接可以是无线连接。该观察还适用于本发明其他实施例所示的其他连接。

致动器 8 以一种示意性方式显示。致动器 8 可以是洛伦兹 (Lorenz) 电动机或者其他设置成当被控制器 6 控制时产生力的合适的致动器。

图 1 还示出了空气支架 (airmount) 10，包括活塞 12 和外壳 14，活塞 12 可以在该外壳 14 中上下运动。在使用中，外壳 14 中充满空气 (或其它适当的气体)。提供阀门 20，并通过通道 21 连接到外壳 14。一个控制器连接到阀门 20 以控制其操作。提供传感器 18 以测量空气支架 10 的外壳 14 和有效负载 2 之间的距离 z_1 。传感器 18 连接到比较器 17，比较器 17 还接受参考信号 z_{1ref} 。传感器 18 生成表示距离 z_1 的输出信号。比较器 17 生成与 z_{1ref} 和传感器 18 的输出之间的差成比例的输出信号，并将其应用到控制器 19。控制器 19 以这种方式激励阀门 20 以便将距离 z_1 控制在预期水平 z_{1ref} 。

控制器 6 和 19 不需要是分离的物理单元。它们可以实现为在同一计算机上运行的分离的程序。

实际上，有效负载 2 可以是很重的，例如 3000 千克或更多。并非绝对需要提供空气支架 10 作为主动控制的装置。可选地，它可以是一种被动的隔振装置。可以使用其他隔振装置例如弹簧来代替空气支架 10。

在实际情形中，对于本领域普通技术人员所公知的，通常会使用三个或四个空气支架 10 来支撑有效负载 2。而且，图 1 示出了一个致动器装置，包括传感器 4、控制器 6 和致动器 8，然而，实际上可以有多个致动器装置。然后，该致动器装置被设置成以六个自由度 (x , y , z 和关于 x 、 y 和 z 的旋转) 中任何一个或者该不同自由度的组合而实现隔振。

图 2a 示出了如图 1 所示现有技术系统的传输率 (transmissibility)。为了使图 2a 更清楚，参照图 2c，其中示出了由放在地面 16 上的主动隔振 AVI 所支撑的有效负载 2。主动隔振 AVI 包括空气支架 10 和主动致动器 8，以及图 1 所示的传感器和控制器。有效负载 2 可以以振幅 z 上下运动，从而地面 16 可以以振幅 h 上下运动。现在，传输率被描述为比率 z/h ，即 z 对 h 的依赖性作为频率的函数。

曲线 A 是这种依赖性的例子。曲线 A 示出了 2Hz 以上的振动。在 2Hz 以下，有效负载 2 将仅仅跟随 (follow) 地面 16 的任何振动：隔振系统具有 2Hz 的本征频率。如本领域普通技术人员所公知的，该本征频率被较好地抑制。

现在，假定该主动隔振 AVI 被设计成具有 0.5Hz 的本征频率。于是，可以很容易看出，对于具有在 2Hz 以上的相等频率的振动，比率 z/h 大约可以比第一种情形小 16 倍。这种更好的性能在图 2a 中用曲线 B 显示。

然而，如参照图 2b 所示的，这样也有缺点。图 2b 示出了图 2c 中概括的系统的柔性的 (compliance)。该柔性的被描述为比率 z/F ，其中 F 等于直接施加在有效负载上的力 (例如由于有效负载 2 上的运动物体的反作用力)。如本领域普通技术人员所公知的，当设计具有较低本征频率的主动隔振 AVI 时，会导致较差的柔性的。例如，图 2b 中的曲线

D 示出了关于具有 2Hz 本征频率的主动隔振的柔性 z/F。然而，如果该主动隔振 AVI 被设计成具有 0.5Hz 的本征频率，曲线 D 会移位到曲线 C。可以看出，对于该 0.5Hz 本征频率以下的频率，柔性 z/F 将会比本征频率是 2Hz 的前一情形中大约高 16 倍。

所以，图 2a 和 2b 示出了在根据图 1 的现有技术系统中的传输率和柔性之间存在关联关系。如果想通过降低悬架频率（suspension frequency）来提高传输率，就会以柔性为代价，反之亦然。

注意到，在 P. G. Nelson, “An active vibration isolation system for inertial reference and precision measurement”, Rev. Sci. Instrum. 62, (9), September 1991, pages 2069–2075 中公开了一种低频率主动隔振系统。Nelson 描述了一种地震仪，包括被稳定并与来自地面的振动隔离的有效负载。该有效负载通过第一弹簧悬挂在“地面”上。与该第一弹簧平行，具有致动器阻尼振动。

通过第二弹簧将附加的基准质量悬挂在有效负载上。提供一个传感器以测量该有效负载和附加基准质量之间的距离。通过该传感器的输出信号控制有效负载和“地面”之间的致动器。这篇文档没有公开被地面支撑的基准质量，该基准质量并且用作有效负载所要跟随的参考。

本发明的目的是提供一种主动隔振装置，能够在实质上改善其柔性的同时，还具有相同或者改善的传输率。

为此，本发明提供一种致动器装置，包括致动器、基准质量、在至少一个自由度中具有至少一个预定弹簧特性的第一悬架、和第一传感器，该致动器设置成在第一物体和第二物体之间施加力，该基准质量设置成通过第一悬架由第三物体支撑，并且该第一传感器设置成生成依赖于基准质量和第一物体之间的第一距离的第一距离信号，并且对控制器应用该第一距离信号以激励该致动器。

以这种方式，本发明提供一种主动隔振系统，其中第一物体（例如有效负载）跟随该附加基准质量。该附加基准质量通过悬架与第二物体（例如地面）隔离。如下文所要详细说明的，这样提供了独立的传输率和柔性的可能（在该主动振动控制工作的频率范围内）。虽然在现有技术系统中，传输率和柔性是关联参数，而在本发明的架构中

它们是独立的。在现有技术中，当通过改变该隔离系统的本征频率而改进这两个参数之一时，这种改进是以另一个参数为代价的，而在本发明中可以对二者或仅仅其一进行改进。附加基准质量及其悬架可以相对于其预期功能而最优设计，即像质量-弹簧系统或质量-阻尼-弹簧系统一样工作，其响应仅依赖于它的设计和第二物体的激励，这里尽可能地避免其他所有寄生干扰。

在一个实施例中，该致动器装置包括第二传感器用于测量第一物体和第二物体之间的第二距离，第一滤波器连接到第一传感器以生成第一滤波输出信号，第二滤波器连接到第二传感器以生成第二滤波输出信号，该第一和第二滤波输出信号被应用到控制器。

根据本发明的致动器装置可以包括外壳，设置成保护该基准质量，并且该悬架支撑该基准质量。

在其他实施例中，致动器装置包括附加传感器和滤波器，该附加传感器设置成测量基准质量和第二物体之间的附加距离，并且为该设置成提供滤波输出信号的滤波器生成附加输出信号，该滤波输出信号被应用到控制器以补偿该第二物体对第一物体的振动传递。

该悬架可以以本领域普通技术人员公知的任何适当方式实施。一个例子是通过第二致动器、用于测量该附加基准质量和第二物体之间的另一附加距离的另一附加传感器、设置成从该另一附加传感器接收另一附加输出信号并且激励该第二致动器的附加控制器来实施该悬架。在这种架构中，该悬架可以被主动控制以具有按照预期依赖于设计所选择的弹簧常数，例如该弹簧需要活动的时间周期。

本发明还涉及一种主动隔振装置，包括如上所述的至少一个致动器装置，和包括用于激励至少该致动器的控制器。

以下，将参照一些附图对本发明进行详细说明。

这些附图仅用于阐明本发明并且仅示出一些实施例。它们不以任何方式对本发明进行限制。本发明仅由所附的权利要求及其技术等效来限制。

图 1 示出了根据现有技术的主动隔振系统；

图 2a 示出了与根据图 1 的系统的传输率相关的曲线；

图 2b 示出了与根据图 1 的系统的柔性相关的曲线；

图 2c 是用于解释图 2a 和 2b 的、根据图 1 的系统的非常概括的简图；

图 3 是根据本发明的一个实施例的主动隔振系统；

图 4a 示出了与图 3 和图 1 中所示系统的传输率相关的曲线；

图 4b 示出了与根据图 3 和图 1 的系统的柔性相关的曲线；

图 5a 和 5b 与图 4a 和 4b 相似，然而与根据图 1 的系统的特定结构相关；

图 6-12 示出了根据本发明的主动隔振系统的不同实施例。

可以观察到，在所有附图中，相同的参考数字指示相同的元件或部件。

图 3 示出了本发明的第一实施例。

在根据图 3 的装置中，去除了图 1 的装置中存在的传感器 4、18。

在地面 16 上提供附加基准质量 22 并通过悬架 24 支撑。悬架 24 可以是具有弹簧常数的弹簧。然而，可选地，它可以是弹簧和阻尼器（例如架空吊车阻尼器）的组合，并且具有预定的弹簧和阻尼特性。以下，为了简单起见，通常将它称为弹簧 24。

实际上，可以有更多的不同自由度的这种悬架。然后，质量 22 可以用作多个自由度中的基准质量。

传感器 26 被提供以测量附加基准质量 22 和有效负载 2 之间的距离 z_2 。传感器 26 向比较器 28 发送输出信号。比较器 28 还接收参考信号 z_{ref} 并从 z_{ref} 中减去从传感器 26 接收的输出信号。基于该比较的输出信号被比较器 28 应用到控制器 6。控制器 6 连接到致动器 8 并且还可以连接到阀门 20。

本领域普通技术人员将会清楚，该附加基准质量 22 不需要被弹簧 24 支撑在地面 16 自身上。可选地，附加基准质量 22 可以通过弹簧 24 支撑在例如位于地面 16 上的基架上。

图 3 的架构的总体思想是，附加基准质量 22 及其支撑一起可以相对于其预期功能而最优设计，即像质量 - 弹簧系统或质量 - 阻尼 - 弹簧系统一样工作，其响应仅依赖于它的设计和第二物体 16 的激励，这里尽可能地避免其他所有寄生干扰例如摩擦或串扰。

通过设计控制器 6 而使得有效负载 2 跟随附加基准质量 22 的位

置，可以显著提高传输率和柔性的组合，如参照图 4a、4b、5a 和 5b 所示。

图 4a 示出了与图 2a 的曲线 A 和 B 相比较的曲线 A 和 B'。曲线 A 示出了本征频率为 2Hz 的图 1 的系统的传输率。在这种情况下，空气支架 10 被描述为 2Hz 的空气支架。曲线 B' 示出了关于具有 0.5Hz 本征频率的图 3 的致动器装置和也是 2Hz 空气支架的空气支架 10 的传输率。在图 4a 的右下侧，曲线 B' 增加，但这是由该控制循环的选择带宽决定的。

图 4b 示出了柔性曲线。曲线 D 再次示出了具有 2Hz 本征频率的图 1 的装置的柔性。曲线 E 示出了图 3 的致动器装置的柔性。曲线 E 显示该柔性已经显著提高，即大约可以是曲线 D 的 125 倍或更好，直到由该控制循环决定的频率。

在图 5a 中，曲线 B 示出了具有 0.5Hz 本征频率并且空气支架是 0.5Hz 空气支架的图 1 所示系统的传输率。在图 5a 中，曲线 B' 与图 4a 中所示的曲线 B' 相同，即它涉及具有 0.5Hz 的基准质量本征频率和 2Hz 空气支架 10 的图 3 所示致动器装置的传输率。从而，图 5a 示出，由于空气支架的选择以及受限的带宽，对于更高的频率，根据图 3 的装置的传输率可以比图 1 的已知装置更差。

图 5b 通过曲线 C 示出了本征频率为 0.5Hz 的图 1 的已知装置的柔性。图 5b 还显示了已经在图 4b 中示出的、与图 3 的装置相关的曲线 E。现在可以看出，对于具有 0.5Hz 的较低本征频率的现有技术系统，与图 3 的系统的比较比具有 2Hz 本征频率的现有技术系统更显著。也就是说，图 5b 显示该改进可以是超过 2000 倍。

从而，图 4a、4b、5a 和 5b 显示，通过本发明的架构，可以同时改进传输率和柔性。传输率和柔性不再像现有技术的情形中那样相关联。可以选择改进二者或仅其中之一而不会降低另一个。这种改进是可能的，因为有效负载 2 现在必须跟随独立基准质量例如附加基准质量 22。

可以观察到，在根据图 3 的装置中，控制器 6 不需要控制阀门 20。空气支架 10 可以由被动隔离系统例如（大型）弹簧构成。进一步可选的是，可以根本不用空气支架 10 或等效弹簧。该包括致动器 8、附加基准质量 22、弹簧 24 和传感器 26 的致动器装置，可以提供为在任何

主动隔振系统中应用的单独单元。当应用到图 3 所示的系统中时（或者下面的其他实施例），该附加基准质量 22 可以设计为具有较低的本征频率例如 0.5Hz。如果这样，那么支撑有效负载 2 的空气支架 10 可以设计为具有较高的本征频率例如 2Hz 并且甚至可以是被动的，同时直到特定频率，该有效负载可以像具有 0.5Hz 空气支架的系统一样工作，相对于传输率来说。这种空气支架 10 比具有 0.5Hz 本征频率的空气支架 10 更廉价。

当应用于图 3 所示的系统中时，其中基准质量具有 0.5Hz 的本征频率，空气支架 10 也可以设计为具有 0.5Hz 的本征频率。在这种情形中，通过切换致动器装置开或关不会改变传输率，而柔性会显著提高。

可以观察到，弹簧 24 本身可以实施为主动隔振装置。例如，质量 22 以及弹簧 24 可以设计为图 1 所示的系统。然后，附加基准质量 22 等于有效负载 2，而弹簧 24 设置成包括传感器 4、18、阀门 20、通道 21、空气支架 10（或其它弹簧，可能是被动的）、致动器 8 和控制器 6。当然，这些元件需要被定标为预期的水平。

图 6 示出了本发明的另一实施例。在图 6 中，弹簧 24 通过致动器 30、传感器 32 和控制器 34 实施。传感器 32 设置成测量质量 22 和地面 16 之间的距离 z3。传感器 32 将输出信号输出到控制器 34。控制器 34 设置成激励该致动器 30。致动器 30 可以是任何适当的致动器例如洛伦兹致动器。

致动器 30、传感器 32 和控制器 34 的架构被设置成，使之作为具有预定弹簧常数、或者弹簧和阻尼常数的悬架而工作。例如与附加基准质量 22 一起，图 6 的该“质量 - 弹簧”系统（包括质量 22 和弹簧 24）可以设计成具有 0.5Hz 的本征频率。这可以通过所示的主动弹簧 24 很容易地实现。要注意的是，考虑到要阻止或最小化所有寄生效应，这种 0.5Hz 的低本征频率对于物理弹簧来说是很难的。例如，机械弹簧会很容易引入由该弹簧自身的内部共振导致的寄生力。

而且，可以将传感器 32 的输出信号与参考高度比较，从而使得控制器 34 控制致动器 30 以将质量 32 保持在预期的偏移高度 z3。这种参考高度为该装置提供了根据客户需要控制距离 z3 的选项。该距离 z3 可以具有依赖于有效负载 2 和第二物体 16 之间的预期偏移距离的预期值。

而且，图 6 的装置还提供了在测量期间改变附加基准质量 22 和弹簧 24 的本征频率的选项。例如，可能希望在某个时间周期期间具有例如 10Hz 的本征频率，而在稍后的时间周期期间具有 0.5Hz 的本征频率。

此外，图 6 的结构可以设计成使之（几乎）完全不具有滞后。

可以观察到，弹簧 24 也可以利用具有负弹簧常数 k 的弹簧作为弹簧 24 的一部分来实现。这是本领域普通技术人员所公知的，不需要在这里进一步详细说明。例如可以参考网站 www.minusk.com。

图 7 示出了本发明的另一实施例。

除了已经参照前面附图描述的部件 / 元件之外，图 7 的装置还包括，用于测量有效负载 2 和地面 16 之间的距离 z_4 的传感器 36。传感器 36 连接到低通滤波器 38。低通滤波器 38 连接到比较器 28。

如前图所示测量附加基准质量 22 和有效负载 2 之间的距离 z_2 的传感器 26，不是直接连接到比较器 28 而是连接到高通滤波器 40。高通滤波器 40 相应地连接到比较器 28。

由于低通滤波器 38，传感器 36 的输出信号对于低频是显著的，由该滤波器设计所决定。而且，传感器 26 的输出信号将主要影响对于高通滤波器 40 的截断频率以上的频率的反馈。优选地，滤波器 38、40 的截断频率与附加基准质量 22 以及弹簧 24 的本征频率有关。从而，在图 7 所示的装置中，有效负载 2 在低频范围内将主要跟随地面 16 的运动，而有效负载 2 在高频范围内将主要跟随附加基准质量 22 的运动。这种设计为基准质量不能充分阻尼的情形提供了解决方案。

应当注意的是，弹簧 24 可以前述的任何方式来设计。还应当注意的是，滤波器 38、40 的截断频率可以不同。还应当注意，滤波器 38、40 可以扩展为（多个）通用二阶滤波器以补偿特定的动态效应。例如，滤波器 40 可以设计成使得传感器 26 在预定频率范围内的影响最小化，即滤波器 40 可以是陷波滤波器。然后，滤波器 38 可以设计为带通滤波器，从而传感器 36 在同一频率范围内具有较强影响。

图 8 示出了本发明的另一实施例。

在根据图 8 的装置中，在附加基准质量 22 和弹簧 24 的周围提供外壳 44。外壳 44 用于保护附加基准质量 22 和弹簧 24 不受可能导致附加基准质量 22 振动的外部干扰影响。这种外部干扰的例子是声学信

号。

在图 8 的装置中，提供传感器 42 以测量附加基准质量 22 和外壳 44 上表面之间的距离 z5。另一传感器 43 被提供用于测量外壳 44 上表面和有效负载 2 之间的距离 z6。传感器 42 发送输出信号到比较器 28。传感器 43 也发送输出信号到比较器 28。很容易可以看出，距离 z4 和 z5 的和与前面实施例中的距离 z2 之间成线性关系。从而，图 8 的装置关于该反馈系统与图 3、6 和 7 的装置等效。

外壳 44 包括空间 46。在一个实施例中，空间 46 可以是真空，即具有低于 10^5 Pa 的压力，以便进一步减少声学信号的任何影响。

图 8 还示出了空气支架 10 的可选实施例。可选的空气支架 10' 不包括可以在空气支架 10' 的外壳 14 内自由移动的活塞 12，而是包括通过波纹管 (bellows) 结构或薄膜 (membrane) 结构固定在外壳 14 上的活塞 12'。

如在前面的实施例中，空气支架 10' 不需要是主动控制的空气支架。可选地，它可以是被动的空气支架（或者其他任何主动或被动的弹簧装置）或重力补偿器。除了能够更好地保护附加基准质量 22 和弹簧 24 不受外部干扰的影响，图 8 的装置还提供了更多的关于测量距离 z5 和 z6 的选项。

图 9 示出了本发明的另一实施例。

图 9 的装置与图 8 的装置相似。不同点在于，传感器 42、43 被传感器 36 和 32 取代。传感器 36 测量有效负载 2 和地面 16 之间的距离 z4（如图 7 中）。传感器 36 的输出信号被直接应用到比较器 28。传感器 38 测量附加基准质量 22 和地面 16 之间的距离 z3（如图 6 中）并且将对应于该距离 z3 的输出信号发送到比较器 28。比较器 28 将传感器 32 的输出信号与参考信号 z_{ref} 相加并减去传感器 36 的输出信号。以这种方式，比较器 28 将输出信号应用到控制器 6，该输出信号是 $z_4 - z_3$ 的指示，其与根据图 3、6 和 7 的装置的距离 z2 成比例。

可以观察到传感器 43 和 36 是技术等效的：因为外壳 44 是固定的刚性体，它们的输出信号仅相差一个预定的常数。传感器 42 和 32 也是相差一个常数，而且是负号。

图 10 示出了本发明的另一实施例。

图 10 的装置包括传感器 32、42 和 43，分别用于测量距离 z3、z5

和 z₆, 如参照图 6、8 所述的。传感器 32 的输出信号被发送到乘法器 50, 其将传感器 32 的输出信号乘以因子-k₁. 乘法器 50 的输出信号被应用到比较器 28。从而, 比较器 28 将与 z₅+z₆-k₁.z₃ 成比例的输出信号发送到控制器 6。在本实施例中, 信号-k₁.z₃ 被用作前馈信号以补偿地面 16 的振动, 该振动可以通过有效负载 2 和地面 16 之间所有类型的机械结构 (例如电缆、冷却水、空气支架等) 到达有效负载 2. 该补偿信号还可以用于其他实施例中。

再次注意到, z₃ 和 z₅ 仅相差一个固定常数和负号。从而, 可以通过单独使用传感器 32 或 42 并对其输出信号进行滤波以获得相同的效果, 从而可以简化图 10 的装置。

而且, 可以观察到, 乘法器 50 一般可以是滤波器, 其不只是用于以-k₁ 相乘。它可以例如是低通滤波器。

图 11 示出了本发明的另一实施例。

图 11 的实施例与图 3 中类似, 其区别如下。

首先, 基准质量 22 不是直接被地面 16 支撑。代替地, 基准质量 22 是通过弹簧 24 由第一子框架 56 支撑。该第一子框架 56 通过弹簧 57 被地面 16 支撑。

第二, 致动器 8 不是直接被地面 16 支撑。代替地, 致动器 8 被第二子框架 54 支撑。该第二子框架 54 通过弹簧 55 被地面 16 支撑。

第三, 空气支架 10 不是直接被地面 16 支撑。代替地, 空气支架被第三子框架 52 支撑。该第三子框架 52 通过弹簧 53 被地面 16 支撑。

该第一、第二和第三子框架 52、54、56 不相互连接。

关于致动器 8, 图 11 的架构具有以下优点。致动器 26 测量有效负载 2 相对于基准质量 22 的位移。基于传感器 26 的输出信号, 控制器 6 生成用于致动器 8 的控制信号以使得致动器 8 对于有效负载 2 产生受控的力, 如上所述。通过这样做, 可以控制有效负载 2 相对于基准质量 22 的位置。假定在图 3 的架构中, 地面 16 具有有限质量, 则可以通过致动器 8 所产生的力使地面 16 发生位移。在图 3 的架构中, 这种后面的位移导致基准质量 22 被通过弹簧 24 传输的力移动。其结果可以是:

- 由于基准质量 22 的非预期移动, 控制系统的性能降低: 该物体需要具有对于其位置尽可能稳定的基准质量 22;

- 由于致动器 8 所产生的力的传输，控制循环会变得不稳定。通过基准质量 22 的位移，传感器 26 所测量的 Z2 的值改变，导致致动器 8 所产生的力进一步改变。在图 3 的架构中，为了防止控制循环不稳定性的发生，必须减少该控制循环的带宽，然而这样却导致了较差的性能。

通过增加支撑致动器 8 并且其自身通过弹簧 55 被地面支撑的子框架 54，致动器 8 所产生的任何力都不是直接传送到地面 16 而是被滤波。这导致了与图 3 的架构相比，地面 16 的位移减小并进而导致基准质量的位移减小。当然滤波量和整个改进依赖于对于第一子框架 54 的质量和弹簧 55 的弹簧常数（和阻尼）所作的设计选择。

通过增加子框架 54 和弹簧 55 所获得的改进可以进一步通过增加子框架 56 而进一步改进，该子框架 56 通过弹簧 24 支撑基准质量 22 并且其自身通过弹簧 57 被地面支撑。然后，会产生在致动器 8 和基准质量 22 之间传输的力的进一步的滤波效应。并不是绝对需要同时额外应用子框架 54 和 56。通过使用子框架 56 而不使用子框架 54 就已经可以获得对于图 3 中架构的改进。

要注意的是，在实际情形中，可以有四个这种致动器 8 和三个传感器 26 以及三个基准质量 22。这三个传感器 26 和三个基准质量 22 可以实现为三个传感器单元，每个传感器单元包括一个传感器 26 和一个基准质量 22。这些传感器单元和致动器 8 可以布置成相互远离。

最后，除了图 3 的架构之外，或者作为单独的测量，空气支架 10 可以被支撑在子框架 52 上，以防止由于地面 16 的任何位移而导致直接从地面 16 到空气支架 10 的力的传输。

图 12 示出了本发明的另一实施例。

在图 12 的装置中，图 3 的架构与已经参照图 1 说明的架空吊车装置相组合。传感器 4 显示为对于控制器 62 产生输出信号。为了完整性起见，该输出信号被显示为应用到比较器 60，该比较器 60 将该输出信号与参考信号 $Z_{ref,a}$ 相比较。比较器 60 对于控制器 62 产生输出信号。控制器 62 依赖于从比较器 60 接收的信号产生控制信号。在求和设备 58 中将该控制信号与控制器 6 产生的控制信号相加。从而两个控制器 6、62 的两个控制信号控制由致动器 8 生成的力。本领域普通技术人员应当清楚，不必是两个分离的控制器 6、62。可以通过以适当

方式编程的一个单独的控制器来提供所需的功能。

图 1 的现有技术装置可以是低频截断系统，具有 0.5 – 5Hz 范围的截断频率。然而，在根据图 12 的装置中，由于该通过传感器 26 和控制器 6 的控制循环，截断频率可以更高，例如在 20 – 80Hz 的范围内。如果这样，那么在图 12 的装置中，传感器 4 只需要适于在具有典型的为 20 – 80Hz 的截断频率的系统中工作。实际上，这是一项更容易的任务：使用范围在 0.5 – 5Hz 的传感器 4 需要额外的测量，例如使用本领域普通技术人员公知的拉伸滤波器（stretch filter）。在图 12 的装置中可以省略这种滤波器。

本领域普通技术人员应当清楚，本发明并不限于上述实施例。各种选择是可能的。

例如，实际上，该装置可以相对于所示装置而倒转。而且，控制器 6、34 被显示为单独的单元。实际上，它们可以实施为在同一计算机上的单独的程序。测量相同距离的传感器用相同的参考数字表示。然而，它们可以是不同的。滤波器 38、40 可以是控制器 6 的一部分。它们可以实施为模拟滤波器、数字滤波器或在计算机上运行的程序。比较器 28 不需要是单独的单元，而是可以集成在控制器 6 中，或者作为计算机程序单元或一部分。比较器 60 不需要是单独的单元，而是可以集成在控制器 62 中，或者作为计算机程序单元或一部分。乘法器 50 可以类似地作为控制器 6 的集成部分。空气支架 10、10' 可以被重力补偿器取代。传感器可以是电容传感器或干涉仪。如果需要的话，可以在控制器和致动器之间设置放大器。

而且，可以组合不同实施例的不同部分。例如，在图 9 的实施例中，可以省略外壳 44。在图 10 中也可以省略外壳 44。然后，传感器 42、43 将会被传感器 26 取代。

此外，可以有多于一个空气支架支撑有效负载 2。附加基准质量 12 可以以多于一个自由度悬挂，并且可以是用于测量有效负载 22 在多于一个自由度中的位置的较好的参考。于是，可以提供更多传感器测量有效负载 2 和基准质量 22 之间的距离以获得关于在多个自由度中的距离和旋转的信息。这些传感器的输出被应用到多输入多输出处理器，该处理器控制多个致动器（通过适当的放大器）以预期的自由度激励有效负载 2。可以提供多个具有悬架 24 的附加基准质量 22 来代替

该一个具有悬架 24 的附加基准质量 22。所有这些替换方案 / 附加方案都包括在所附权利要求的范围内。

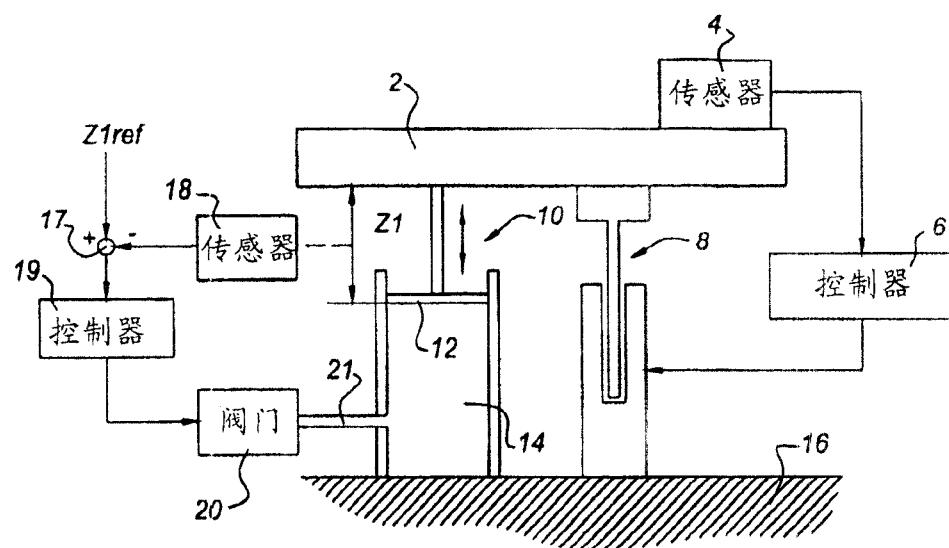


图 1

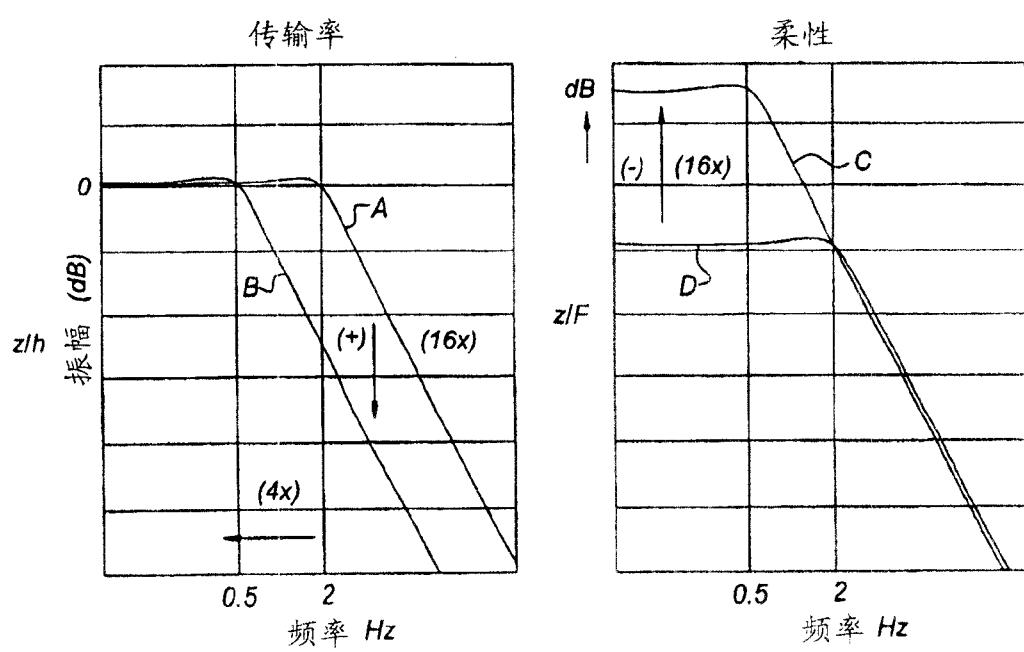


图 2a

图 2b

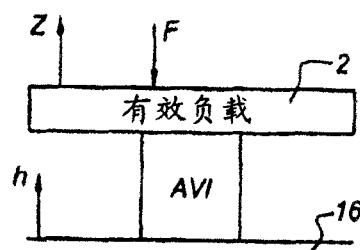


图 2c

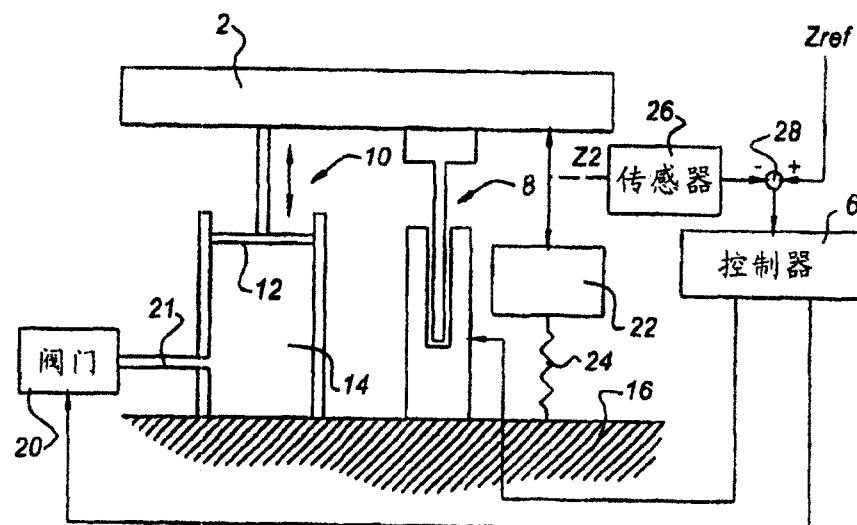


图 3

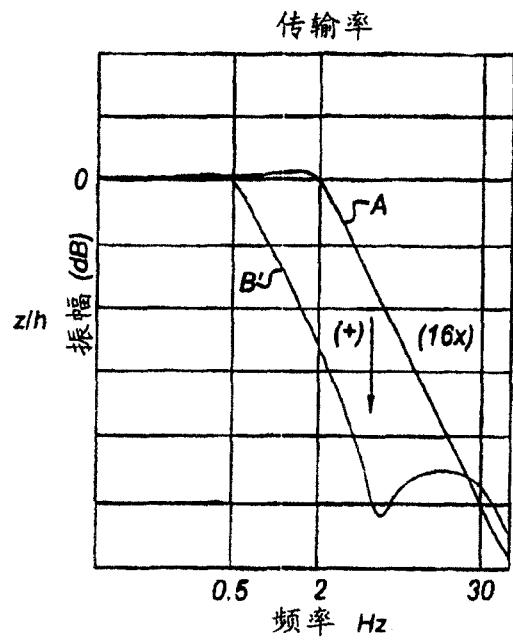


图 4a

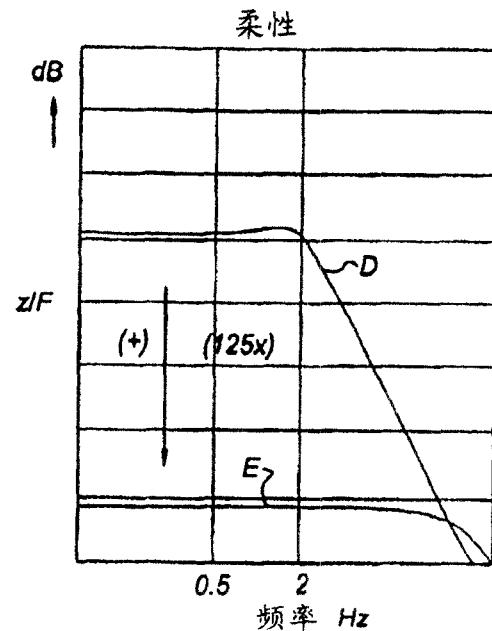


图 4b

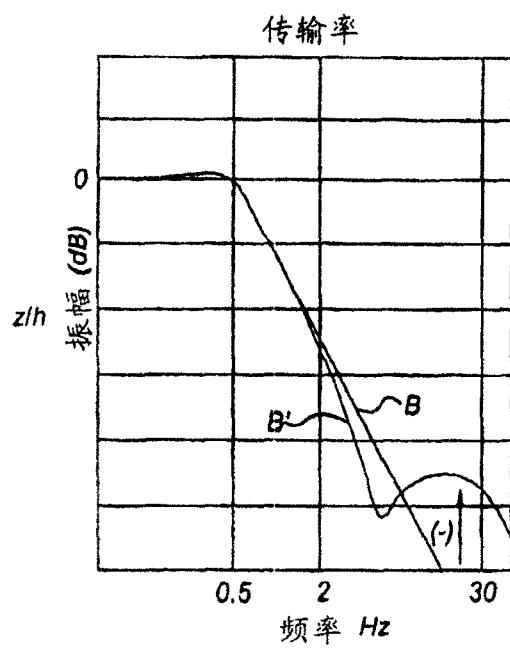


图 5a

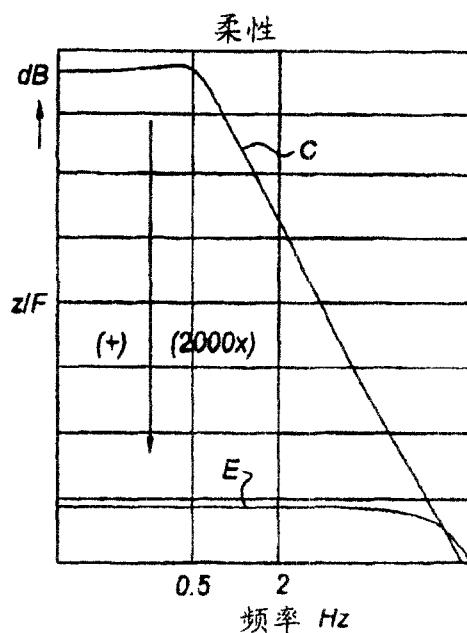


图 5b

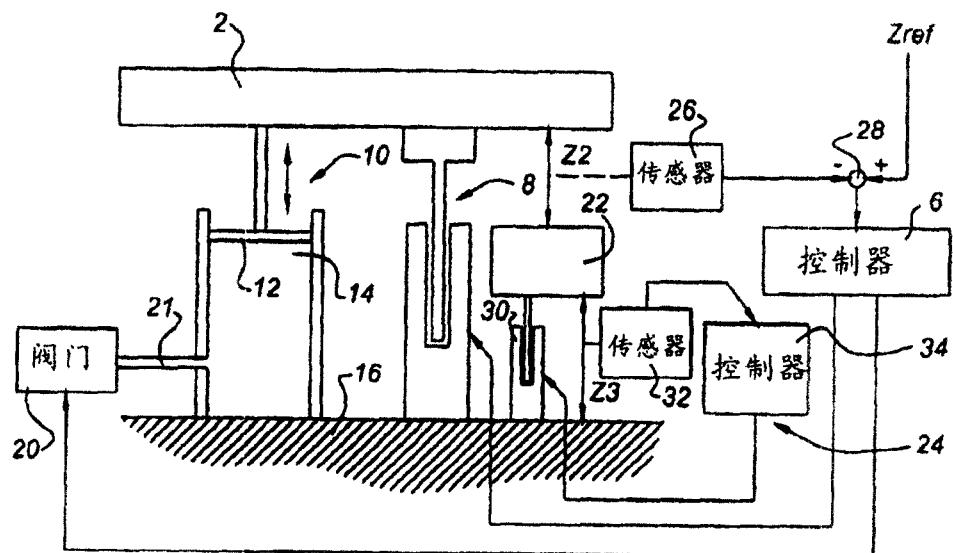


图 6

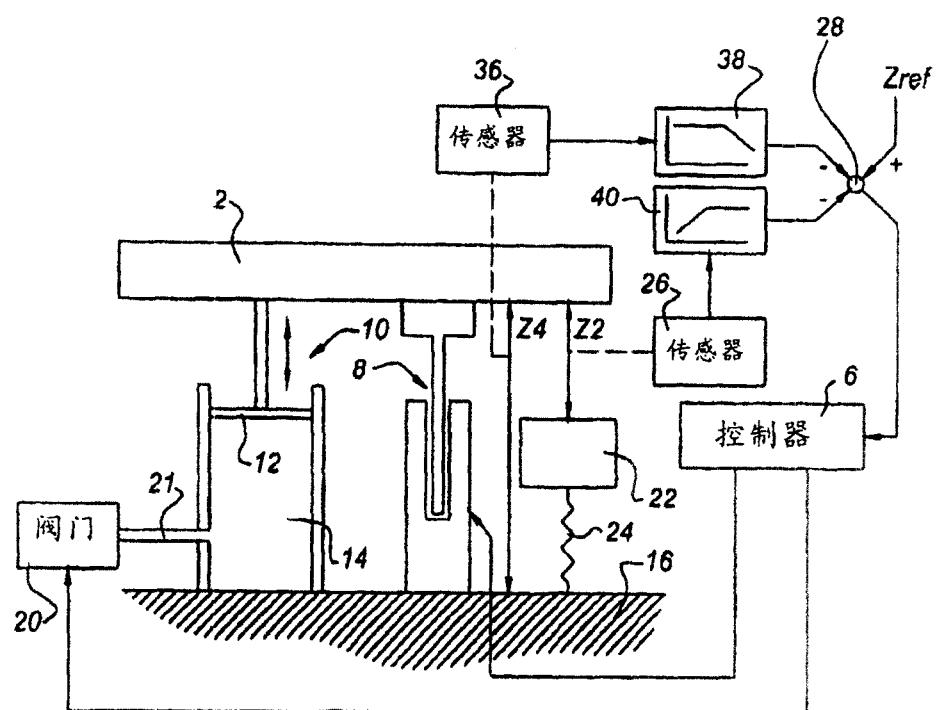


图 7

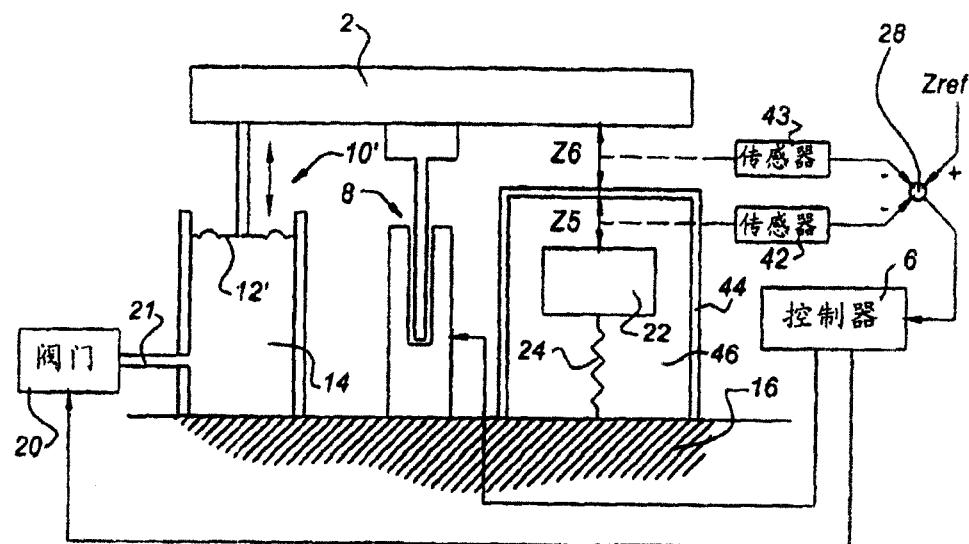


图 8

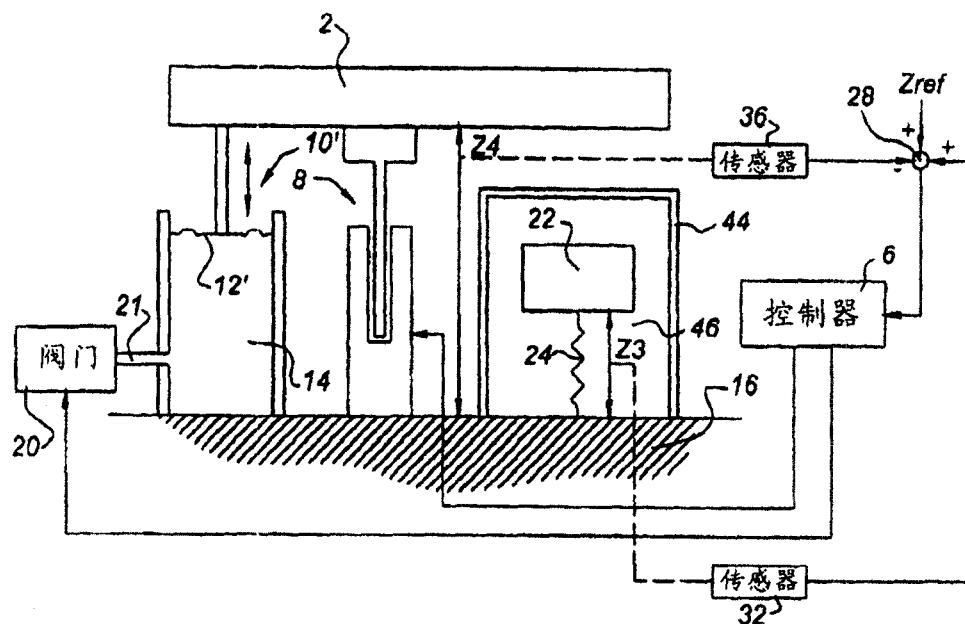


图 9

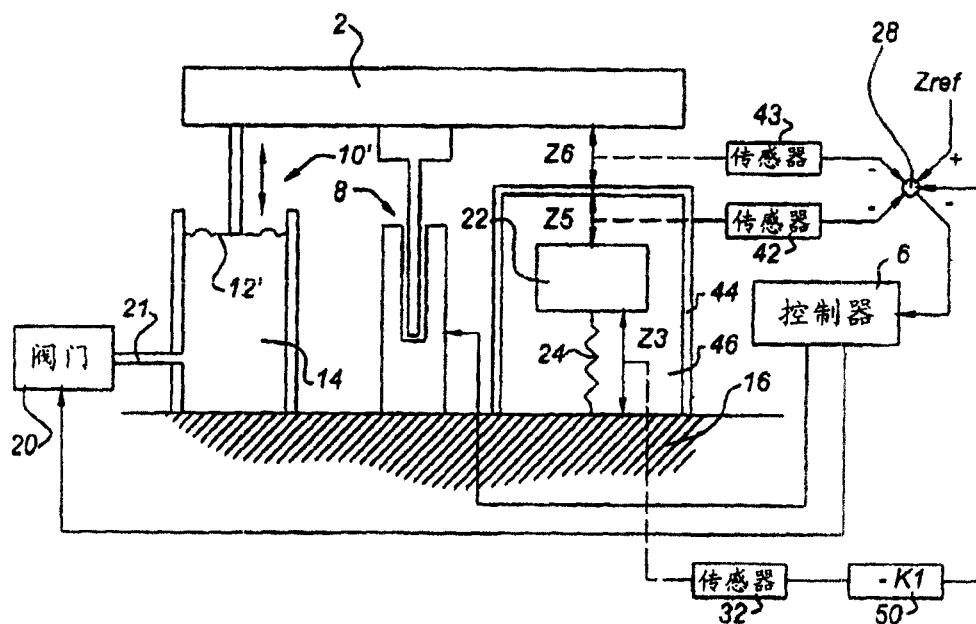


图 10

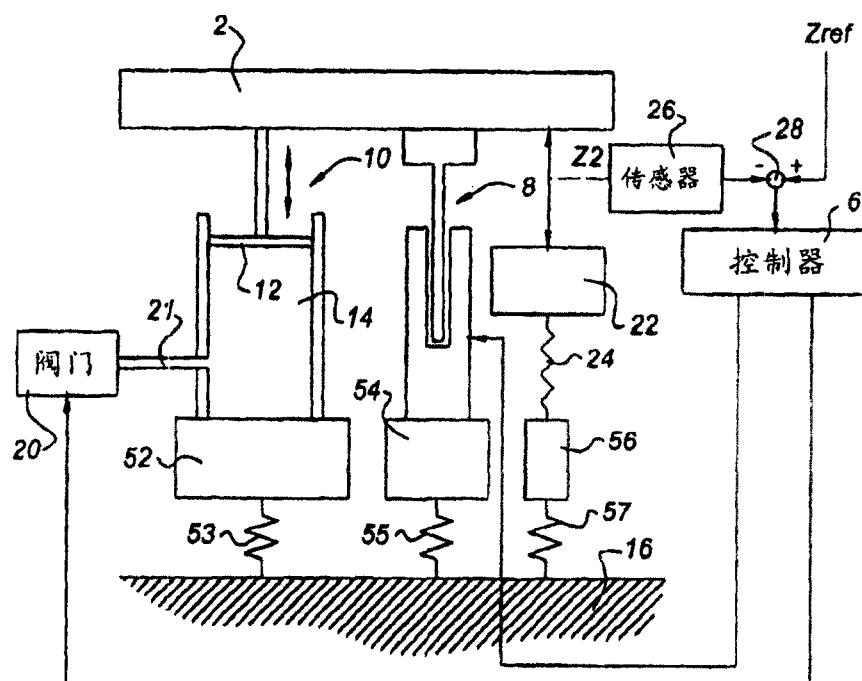


图 11

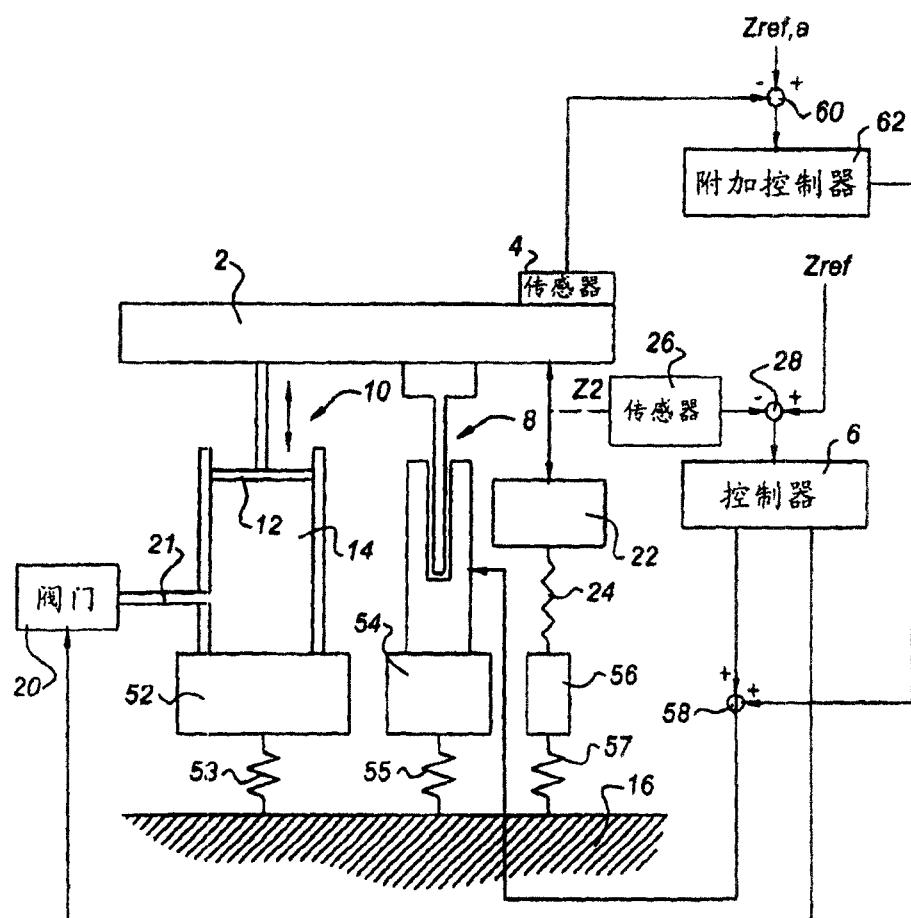


图 12