

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G01M 7/00 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 03809374. X

[45] 授权公告日 2009 年 7 月 29 日

[11] 授权公告号 CN 100520333C

[22] 申请日 2003.4.24 [21] 申请号 03809374. X

[30] 优先权

[32] 2002. 4. 26 [33] US [31] 10/133,962

[86] 国际申请 PCT/US2003/012741 2003. 4. 24

[87] 国际公布 WO2003/091684 英 2003. 11. 6

[85] 进入国家阶段日期 2004. 10. 26

[73] 专利权人 团队有限公司

地址 美国华盛顿州

[72] 发明人 W·B·沃依斯基 D·A·隆德

[56] 参考文献

US5343752A 1994. 9. 6

JP54 - 104866A 1979. 10. 23

JP08 - 122199A 1996. 5. 14

US4011749A 1977. 3. 15

US5544528A 1996. 8. 13

CN1253623A 2000. 5. 17

审查员 何昱康

[74] 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司

代理人 赵蓉民

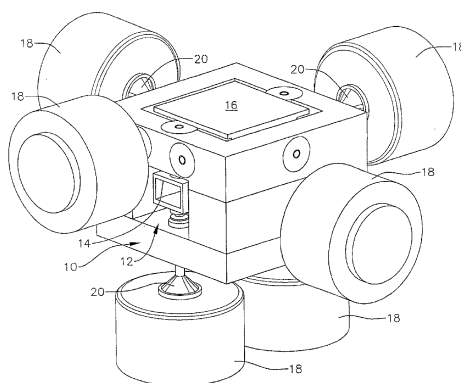
权利要求书 4 页 说明书 10 页 附图 12 页

[54] 发明名称

高频率多自由度振动测试机

[57] 摘要

一种振动测试机包括：固定的外部框架；块状形式的振动平台，振动的能量从外部框架的里面被传送到该平台；由外部框架支撑的驱动预载活塞，它被连接到振动平台的一个面上；由外部框架支撑的被动预载活塞，它被连接到振动平台与驱动预载活塞相对的那一面上；以及位于外部框架外面的外部力发生器，它被连接到驱动活塞以导引高频率的振动能量到达驱动活塞，再将该振动能量传送到振动平台。在一个实施例中，一个多自由度振荡器包括多个连接到相应驱动预载活塞上的外部力发生器，驱动预载活塞有一个相关的被动预载活塞位于振动平台的相对的那一面上。连接在振动平台上的预载活塞包含调心轴承衬垫，以提供被导引至振动平台内的多自由度的振动。



1. 一种振动测试机，其包括：固定的外部框架；坚硬结构形式的振动平台，振动能量从所述外部框架的内部被传送到该振动平台；驱动预载活塞，其可在被所述外部框架牢固支撑的第一腔室内滑动，并且被连接到所述振动平台的一个面上；被动预载活塞，其可在被所述外部框架牢固支撑的第二腔室内滑动，并且被连接到所述振动平台的与所述驱动预载活塞相对的一面上；以及外部力发生器，其位于所述外部框架的外部，并且被连接到所述驱动活塞，以将力施加到所述驱动预载活塞上，而将振动能量引导到所述驱动活塞，该驱动活塞再将该振动能量传送到所述振动平台；而且其中：所述被动预载活塞对于所述振动平台施加一力，该力与所述驱动预载活塞所施加的力相反；所述第一腔室包含可控级别的液体压力，该液体压力被施加到所述可滑动驱动预载活塞上；所述第二腔室包含可控级别的液体压力，该液体压力被施加到所述可滑动被动预载活塞上。

2. 如权利要求 1 所述的振动测试机，其中所述外部力发生器包括电动振动器或电动液压振动器。

3. 如权利要求 1 的振动测试机，其中所述驱动预载活塞在低弹性系数下借助被施加的空气负荷来液压驱动，以使所述驱动预载活塞对于所述振动平台施加的预载力对全部范围的所引入的振动都能够保持在初始预载水平。

4. 一种多自由度振动测试机，其包括：一固定的外部框架；一坚硬结构形式的振动平台，振动能量从所述外部框架的内部被传送到该平台；多个位于所述外部框架外部的的外部力发生器，每个发生器用来将相应的振动自由度上的振动能量引导到所述振动平台，每个外部力发生器通过一相应的驱动预载活塞被连接到所述振动平台上，而该驱动预载活塞被一牢固固定在所述外部框架上的腔室支撑，每个驱动预载活塞被连接到所述振动平台的一相应面上，以对所述振动平台施加

一预载力；一相应的分立被动预载活塞，其被一牢固固定在所述外部框架上的腔室支撑，每个被动预载活塞被连接到所述振动平台的与一个相应驱动预载活塞相对的一相应面上；一分立调心球形轴承，其被连接在每个驱动预载活塞和所述振动平台的一相应面之间；以及一分立调心球形轴承，其被连接在每个被动预载活塞和所述振动平台的一相应面之间；其中：每个被动预载活塞对所述振动平台施加一力，该力与相应于该被动预载活塞的所述驱动预载活塞所施加的预载力相反，所述预载轴承配合由所述力发生器引导至所述振动平台的多自由度的振动。

5. 如权利要求 4 所述的振动测试机，其中所述外部力发生器包括电动振动器或电动液压振动器。

6. 一种施加振动力至振动测试机中的测试单元的方法，该方法包括：

以坚硬固定框架的形式，用反作用块包围振动平台；

在所述框架的外部设置多个分立的外部力发生器，每个所述分立的外部力发生器有振动能量输出；

通过推拉式布置的预载装置，将每个所述分立的外部力发生器输出的振动能量传送到所述振动平台，该预载装置包括：驱动预载装置，其将所述分立的外部力发生器的振动输出传送到所述振动平台；以及被动预载装置，其位于所述振动平台的相对一面，对所述振动平台施加一力，该力与所述驱动预载装置所传送的振动输出相反；其中所述预载装置包括腔室，所述腔室被牢固地固定在所述坚硬固定框架的相对面上，并且包含处于所述腔室内的可滑动的活塞，所述活塞有连接到所述振动平台的相对面的活塞杆，每个腔室提供作用到其相应活塞上的可控液压源。

7. 一种施加振动力至振动测试机中的测试单元的方法，该方法包括：

以坚硬固定框架的形式，用反作用块包围振动平台；

在所述框架的外部设置外部力发生器，该外部力发生器有振动能

量输出；

通过推拉式布置的预载装置，将所述外部力发生器输出的振动能量输出传送到所述振动平台，该预载装置包括：驱动预载装置，其将所述外部力发生器的振动输出传送到所述振动平台；以及被动预载装置，其位于所述振动平台的相对一面，对所述振动平台施加一力，该力与所述驱动预载装置的力相反。

8. 如权利要求 7 所述的方法，其中每个所述外部力发生器包括电动振动器或电动液压振动器。

9. 如权利要求 7 所述的方法，其中所述预载装置都是独立控制的，以产生不同的初始偏置力。

10. 一种多自由度振动测试机，其包括这样的组合体：一固定坚硬的框架；在所述固定框架内的一多自由度振动平台；多个包括电动振动器的外部力发生器；多对驱动和被动预载活塞，每一对包括一个驱动预载活塞和一个相应的被动预载活塞，它们位于所述振动平台的相对面上，每一对都与各自的发生器相关联，并且每一对都按推拉关系布置被固定在所述固定框架的相对面上；以及多个流体静力调心滑动轴承，其将所述预载活塞连接到所述振动平台。

11. 如权利要求 10 所述的振动测试机，其中所述外部力发生器与所述预载活塞组合构成一个六自由度振动器。

12. 一种振动测试机，其包括：

坚硬固定外部框架；

振动平台，其包括位于所述外部框架的内部的坚硬结构；

外部力发生器，其位于所述外部框架的外部，用来引导所述振动平台内的振动力；

驱动预载装置，其牢固固定在所述外部框架上，并且有一个连接到所述外部力发生器上的受力端，以及一个连接到所述振动平台的第一面上的施力端；

被动预载装置，其牢固固定在所述外部框架上的与所述驱动预载装置相对的面上，并且有一个连接到所述振动平台的与所述驱动预载装置相对的第二面上的受力端；

所述预载装置的施力端和受力端沿一共同的轴被排列在一个直线上，并且通过分立的调心轴承被连接到所述振动平台的相对的面上；

所述驱动预载装置的施力端适合用来施加可调节的预载力至所述振动平台的第一面上；

所述被动预载装置的受力端适合用来分立且独立于所述驱动预载装置的预载力调整、施加可调节的被动预载力至所述振动平台的第二面上。

13. 如权利要求 12 所述的振动测试机，其中所述驱动预载装置和所述被动预载装置通过分立的调心球形轴承，各自被连接到所述振动平台的相对的第一和第二面上。

14. 如权利要求 12 所述的振动测试机，其中所述驱动预载装置借助于所述预载装置与所述坚硬固定外部框架的牢固固定对于振动力的抵抗，将来自所述外部力发生器的该振动力施加到所述振动平台，并且其中由所述被动预载装置，借助于其与所述坚硬固定外部框架的牢固固定，抵抗被传送到所述振动平台的所述振动力。

高频率多自由度振动测试机

技术领域

本发明涉及模拟振动环境以用于测试那些在使用中需要经受振动的产品，而更具体地说，涉及一种改进的振动测试机，在一个实施例中，该振动测试机模拟在很高振动频率下具有多自由度的振动环境。

背景技术

许多产品在其使用寿命中要经受机械振动，在设计和生产阶段进行产品的振动测试已经证实对提高产品的预期使用寿命很有价值。

现实世界中所经历的振动通常包括所有六个自由度（DOF），也就是说，振动通常沿三个正交的坐标轴都有线性加速度分量以及绕这些坐标轴的角加速度分量。振动环境的最佳模拟应该包括所有这六个自由度上的振动。

已经有几种振动测试机被设计用来产生六个自由度的振动。它们通常使用液压致动器来移动一个测试平台，而在该测试平台上放置测试物品。因为每个致动器通常只产生单一一个自由度上的运动，因此每个致动器必须通过具有五个自由度的轴承连接到测试平台上。这样，致动器控制测试平台上连接传动杆处的单一自由度运动。具有五个自由度的轴承允许在其它五个自由度上的运动。借助于适当安排六个致动器，每个致动器控制单一一个自由度，测试平台的所有六个自由度都可受到控制。

有许多致动器和轴承结构都可能获得六个自由度的振动和/或震动。例如，在每个致动器端部的球形轴承，和放置在致动器和测试平台间的球形轴承，或特殊的五自由度轴承连接，该五自由度轴承在单个元件里包含有一个既能滑动又能转动的轴承。

这些系统在其频率响应方面受到液压振荡器、测试平台和一些连杆的动力学限制。一个对频率响应非常主要的限制来自液压振荡器。

典型的液压伺服阀受限于 50 或 100 赫兹的频率响应。转让给团队公司的美国专利 5,343,752 提出了一种伺服阀和双重作用活塞致动器，

它取决于致动器的尺寸，响应 1000 到 2000 赫兹频率。在该专利中提出了多种多自由度系统。每个系统使用一个高频率阀，来产生比过去用多自由度振荡器所能得到的更高的振动频率。其中的一种系统，被称为 Cube 测试系统，在振动平台的内部包含有致动器。这种系统提高了一个六自由度振动测试系统的频率响应，将之前该项技术的可控制频率从大约 50 赫兹提高到约 250 赫兹。甚至可期望达到更高的频率响应，因此 Cube 类型系统形成了本发明的改进进行比较的基础。

与 Cube 类型多轴振动平台相比，本发明有更高的频率响应和更好的平台均匀性（较少失真）。电动（ED）致动器与哪怕是最好的电动液压（EH）振荡器相比，有免于失真的更好的频率响应和更佳自由度，并且本发明的更小、更坚固的平台提供了比 Cube 测试系统更高的第一模态频率。这对于测试物件来说就变成了更高得多的重力加速度级别。

Cube 振荡器的致动器设置于振动平台的内部，并且被安装到位于支柱上的反作用块（reaction mass）上，上述支柱从振动平台的底部伸出。已经发现这种内部致动器的安装结构（支柱）具有一个相对较低的固有频率，它限制了那种设计的频率响应，使其低于致动器所能达到的频率。

此外，由于 Cube 振荡器完全被安装（且振动）在反作用块之上，所产生的巨大力矩必须由反作用块进行反作用。要将反作用块的运动保持在一个最小量内就需要使用大反作用块。

发明内容

简要地说，本发明的一个实施例包括一个振动测试机，它有一个固定的支撑框架；一个采用坚硬结构形式的振动平台，振动的能量从支撑框架的内部被传送到该平台；一个由支撑框架支撑的驱动预载活塞，它被连接到振动平台的一个面上；一个由支撑框架支撑的被动预载活塞，它被连接到振动平台的与驱动预载活塞相对的那一面上；以及一个位于支撑框架外部的外部力发生器，它被连接到驱动活塞以便将高频振动能量引导到达驱动活塞上，而驱动活塞则接着将该振动能量传送到振动平台。被动预载活塞对于振动平台施加一个力，该力与驱动预载活塞的力相反。

在一个实施例中，一个多自由度振荡器包括多个外部力发生器，它们各自被连接到一个相应的驱动预载活塞上且有一个相关的被动预载活塞处于振动平台的与之相对的那一面。连接到振动平台上的预载活塞包含调心轴承垫，以配合振动平台中被引入的多自由度振动运动。

本发明用一个反作用块（支撑框架）包围振动平台，而使得该平台的重心和反作用块的重心彼此靠得非常近。与 Cube 类型的振荡器相比，所述测试固定设备从两个方面得到了改进。首先，反作用力作用在离反作用块的重心更近得多的地方，显著地减小了导入的力矩，且因此而减小了所需要的反作用块的尺寸。其次，振动平台更小并且有更小得多的质量，因此反作用力和力矩的大小与 Cube 结构相比要低得多。

虽然施加振动力的位置是以空间结构安排的，与 Cube 系统相似，但是实际的力产生致动器被放置在测试平台或支撑框架的外部。这样就能够使用不同类型的力产生致动器。在一个实施例中，本发明使用电动（ED）致动器，但是所述原理并不局限于电动振荡器。单端或双端电动液压（EH）振荡器，或任意一种机械振荡器也可被用作力产生致动器。

本发明的一个实施例涉及到一种预载调心流体静力润滑的滑动轴承的方法，该轴承仅仅能够支持压缩载荷。在本发明中，上述轴承被用来将一个外部力产生装置连接到振动平台，从而使振动平台的运动能够提供多自由度振动。被传送到振动平台的振动能量的自由度的数目可以从一个自由度多至六个自由度。

多自由度振动平台被用于对许多类型的物体模拟振动和震动环境。六个自由度的模拟是最完全的。本发明允许多种外部力产生装置，它们各自产生单一一个自由度的运动（沿一条直线的推拉力），能够连接一个电动振荡器或一个电动液压振荡器，从而让推力和拉力有效地被传送到振动平台。特别是，本发明允许力产生装置例如电动液压振荡器，它们一般仅仅从一端接到移动元件（电枢），被有效地连接到多自由度振动平台。本发明还使机械装置之间的交叉连接达到最少，这些交叉连接将单一自由度的力发生器连接到以多个自由度运动的振动平台。

因此，本发明的一个实施例包括这样的组合：上述固定的外部框架；上述多自由度振动平台；多个外部力发生器，每个外部力发生器可以是一个电动振荡器；一个驱动预载活塞和一个被动预载活塞，它们成对使用，每一对与各自的力发生器相关连；以及多个流体静力调心滑动轴承，它们将预载活塞连接到振动平台。

本发明的这些方面和其它方面将会通过参考下面的详细说明和附图而得到更加充分的理解。

附图说明

图 1 是一个透视图，显示了一个结合有电动型单一自由度力发生器的六自由度振动平台。

图 2 是一个示意性剖面图，显示了一对力发生器、一个固定框架、一个多自由度振动平台和一对预载产生活塞（驱动活塞和被动活塞），该对预载产生活塞将各个力发生器连接到振动平台上。

图 3 是一个驱动预载活塞的剖面图。

图 4 是一个被动预载活塞的剖面图。

图 5 是本发明的一个可选择方案的示意性剖面图，它包含一个单一自由度振动平台。

图 6 是振动测试机的一个支撑系统的实施例的透视图。

图 7 是图 6 所示支撑系统的俯视图。

图 8 是沿图 7 中的线 8-8 得到的侧面正视图。

图 9 是沿图 7 中的线 9-9 得到的侧面正视图。

图 10 是振动测试机的一个可供选择的支撑系统的透视图。

图 11 是图 10 所示支撑系统的俯视图。

图 12 是沿图 11 中的线 12-12 得到的侧面正视图。

图 13 是沿图 11 中的线 13-13 得到的侧面正视图。

具体实施方式

图 1 是一个多自由度振动测试机的透视图，该振动测试机包括一个大致为立方形的固定的坚硬支撑框架 10。处于支撑框架 10 内部的中空的空間 12 包含有一个振动平台 14，振动平台 14 采用的是一个高硬

度的坚硬结构，以将被传送到它的振动能量提供至振荡器的运动部件。在振荡器的顶部面上水平设置一个测试平台 16。该测试平台被牢固地固定在振动平台上，而一个待测试单元（未显示）则被固定在测试平台上经受振动测试。图 1 中显示的支撑框架 10 和其它振荡器组件被安装到一个底部支撑结构上，该支撑结构置于地面上。底部支撑结构的实施例将在下面描述。

分立的力发生器 18 被安置在邻近坚硬框架 10 的外部侧面的位置上。图解实施例包括一个六自由度振荡器，其中有六个力发生器 18，它们被置于邻近这个立方形的支撑框架的五个面的位置上。有两个力发生器被并排置于邻近该立方形框架的底部面的位置上，而在放置测试单元的顶部面上则没有邻近的力发生器。其它四个力发生器被安置在邻近该立方形框架的剩余四个面的位置上。振动力发生器以高频率将振动能量传送到测试机的移动振动平台部件上。图示实施例中的力发生器包括电动型振动力发生器，不过也可以使用其它类型的力发生器如电动液压型力发生器。在图示实施例中，各个力发生器通过一对相应的固定在固定框架上的液压活塞连接到振动平台上。这些活塞在这里被称作预载活塞，详细描述于图 2 至图 4 中。

在图示的振动测试机中，电动型振动力发生器通过相应的圆锥形连接器 20 以机械方式被连接到预载活塞杆上，这些连接器 20 逐步减小了电动振荡器的相应振动部件的直径。电动振荡器通常包括一个圆柱形金属外壳，其包含有一个在电磁线圈内以高频率振动的音圈，该电磁线圈也包括一个激励绕组。振动音圈具有的直径比连接电动振荡器的振动活塞杆的直径更大。

图 2 说明了一个通过相应的预加负载装置以机械方式将外部力发生器连接到内部振动平台的系统的实施例。在图解说明中，处于支撑框架 10 相对两面的力发生器用参考标记 18a 和 18b 标出。图示的力发生器 18a 处于支撑框架的左面，通过一个驱动预载装置 22a 被连接到振动平台上。来自力发生器 18a 的运动音圈的振动能量被传递到驱动预载装置中的预载活塞 24a。活塞 24a 通过上面描述的外部连接器 20 被牢固地固定在力发生器的运动部件上。活塞 24a 处于支撑框架内部的驱动端通过一个调心流体静力滑动轴承 26a 被连接到振动平台上。

在振动平台的相对面，一个被动预载装置 28a 与驱动预载装置 22a 在轴向上对准。被动预载装置 28a 没有连接到力发生器上，它的作用是反抗驱动预载活塞 24a 的预载力。被动预载装置包括一个被动预载活塞 30a，它通过一个调心流体静力滑动轴承 32a 连接到振动平台上。

所示位于支撑框架 10 右侧的力发生器 18b 通过类似于上述力发生器 18a 的预载装置被连接到振动平台上。因此力发生器 18b 通过一个驱动预载装置 22b 被连接到振动平台上，该预载装置 22b 有一个驱动预载活塞 24b，该驱动预载活塞通过调心轴承 26b 被连接到振动平台上。在振动平台的相对面是一个被动预载装置，它包含一个与驱动预载活塞 24b 轴向对准的被动预载活塞 30b。被动预载活塞 30b 通过一个调心流体静力滑动轴承 32b 被连接到振动平台上。

如图 2 所示，由力发生器 18a 和 18b 产生的输出力是沿平行的轴线被分隔开的。这代表了排列在所示立方体结构的相对面上的两对力发生器的推拉式布置。处于支撑框架的底部的两个力发生器沿着被连接到振动平台底部的相对面上的平行轴输出它们的振动力。

图 3 中更详细地展示了驱动预载活塞将其调心流体静力滑动轴承。驱动预载装置 22 包括移动活塞部件 24，该部件有一个塔形轴，一个外壳 34，一个液压蓄力器 36，以及一个调心流体静力滑动轴承 26。上述塔形轴的较小直径的端部 38 从外壳的壳体中伸出。这个塔形轴伸出部分提供了将单一自由度的力发生器连接到运动活塞的手段，用于使推力和拉力传递到驱动活塞上。

塔形活塞的外形所造成的腔室的空间被连接到液压蓄力器 36，并且通过将该腔室连接到一个处于压力下的外部液体源，而使其充满一种液体（典型地是液压油）。由于活塞伸出部分的直径和较大的活塞直径的差异造成了一个凸肩部分，该部分提供了一个受到液体压力作用的表面 38。这种压力产生作用在活塞上的力，从而对调心衬垫轴承 26 预加载荷，使其紧靠到振动平台的一个平坦表面上。蓄力器 36 使活塞 24 能够伸出和收缩并且保持与测试固定组件的接触。操作过程中使压力变化最小化，使得外部力发生器所提供的有效力能够有更多可被传递到振动平台。一个可调流量限制装置 40（例如可调节流孔）可以被加到介于蓄力器和活塞之间的液体通路 42 中，从而可获得可变的阻尼

数值。阻尼对控制振动平台内的结构共振是有用的。蓄力器的上面部分 44 包含处于压力下的气体。气体压力是受控的，以运用低弹性系数（low spring rate）的等价方案来使得驱动预载活塞在使用过程中保持其初始预载力。

图 4 中更详细地展示了被动预载装置 28。它包含有除了塔形轴伸出部分之外的所有驱动预载活塞的特征。该被动预载装置包括预载活塞 30，它通过调心轴承 32 被连接到振动平台上。一个液压蓄力器 46 通过一个管路 48 被连接到活塞腔室，管路 48 内有一个可调整限流器 50。蓄力器内的气体空间 52 是可在一定低弹性系数下控制的，用来保持初始预载力。当气体被压缩时，它产生一个作用在振动平台上的力，该力与驱动预载活塞上的力相反。这个力大小通常等于驱动预载活塞上的预载力，但是也可以被调整而小于或大于该预载力以便产生多自由度振动平台的不同运行特性。

在使用过程中，预载活塞提供了一种将力发生器所施加的力传递到振动平台的手段。预载活塞是被动的，意思是指它们不能导致振动台的运动与它们相一致。它们的作用是施加初始预载力，该初始预载力大于外部力发生器所产生的力。这种初始预载条件对保持调心滑动轴承和振动平台之间的接触以及适当地将外部力传递至振动平台是至关重要的。理想的是为了机器的最佳性能起见，只要可行，就使这些预载力保持为非常接近于常量。一种保持接近于恒定的力的方法是通过使用气压/油压蓄力器来实现的，但这不是唯一可能的方法。包含在蓄力器内的气体空间被用来使压力方面的变化达到最小，从而使预载活塞在伸出和收缩时，活塞上的预载压力变化达到最小。在机器的运行过程中，外部力发生器所产生的动力要加上和减去预载活塞上的预载力。如果该动力不超过初始预载力，那么调心衬垫轴承就可能脱离振动平台的表面。预载活塞是一个使用液体弹性力的预载装置的例子，其它用于施加机械弹性力的预载装置也是可以使用的。

在一个实施例中，与预载活塞一起使用的调心轴承可以是美国专利 5,343,752 描述的球形轴承，该专利被转让给团队公司。

图 6 至图 9 展示了一种在使用过程中用来支撑振动测试固定装置的设备，并且图 7 至图 13 给出了一种可供选择的支撑系统。在这两种

实施例中，为了简明起见，显示了一个三轴振动测试系统，但是这些支撑系统也可以被用于其它力产生设备，例如一个六自由度系统。

图 6 至图 9 图解说明了一种支撑系统，其中各个力发生器 18 被牢固地固定在固定框架结构 10 上。这种组合体被安装到一个置于地面上的底部支撑结构 60 上。被组合的力发生器和固定框架被安装到一个空气弹簧 62 上，该空气弹簧用于隔离振荡器所产生的振动，以免其传递到底部支撑结构上，因此在使用过程中产生的振动不会被传递到地面。

图 10 至图 13 图解说明了一个可供选择的支撑系统，其中所示力发生器可在机械上与测试系统的振动元件隔离开来。在这种实施例中，每个力发生器均被相应的 U 形框架 64 包围起来，每个力发生器在 U 形框架内有它自己的弹性机械装置，用来使固定框架 10 与振动隔离开来。U 形框架 64 和它们相应的力发生器被牢固地固定在固定框架 10 上。这种组合体被牢固固定在一个坚硬的底部支撑结构 66 上。整个振动测试固定装置和底部支撑结构被置于地面的空气弹簧 68 上，该空气弹簧位于底部支撑结构的支柱和地面之间。空气弹簧将运行过程中产生的振动与地面隔离开来。

一台计算机使用特别设计的用于多轴运动控制的特殊软件来控制上述多轴振动系统。这些控制设备可以从本技术领域知名的多个制造商处获得。

通常，计算机估算一个系统的动力学线性模型，使测试物件的运动与传给力发生器的六个驱动信号相关连。上述模型计入振荡器以及测试机的动力与测试物件之间的相互作用关系。利用该模型计算出传送给力发生器的驱动信号，以产生所需要的测试振动。

预载活塞所施加的静力是通过调节先前描述的压力调节器、控制作用在这些活塞上的液压来控制的。

当作用在振动平台上的预载力大小相等而方向相反时，合力为零，因此振动平台不会移动，而此时滑块衬垫轴承在压缩载荷的作用下与振动平台的表面相接触。如果各初始预载力被调节成不相等，那么一个外部力必须提供额外的稳态力以使所有力的总和为零。外部力发生器可提供这一外部力，或者该力也可通过重力来施加。在被动活塞和预载活塞上应用不同的力，将会抵消作用在振动平台上的重力和被放

置在振动平台上的测试物件的重力。在振动或震动测试过程中，为了产生运动，抵消重力来保留所有可用的驱动力。改变预载力的另一个好处是当需要时，使振动平台系统得以在一个给定的方向上产生振动平台的较高加速度。

压力下的液体同样产生作用于驱动预载活塞和被动预载活塞的外壳上的力。这些力被传递到固定框架上。固定框架连接着预载活塞组件的外壳，使得这些力之和作用在外壳上。当驱动预载活塞和它相对的被动预载活塞上的预载力相等时，固定框架上的作用力之和为零。这样如果需要的话，就可使外部力发生器的机身能够与固定框架从机械上隔离开来。如果驱动预载活塞和它相对的被动预载活塞内的预载力被设置成不相等，那么外部力发生器的机身就从机械上被连接到固定框架上，因此力发生器所施加的稳态外部力可受到固定框架内的力反作用。

图 5 是本发明的一个可供选择方案的剖面图，它展示了一个采用本发明原理的简化实施例。在这个设备中，一个驱动预载活塞和一个被动预载活塞被连接到振动平台、支撑框架和外部力发生器上。如这一实施例所示，外部力发生器可以是一个电动振荡器，不过也可使用液压振荡器。可以在其它方向上复制这一组合体，从而产生一个多自由度系统。

为了增大可用于使振动平台加速运动的力，可以用一个驱动预载活塞组件代替被动预载活塞组件。这种构造将允许使用额外的外部力产生装置。

当需要一个产生三向平动而不要转动的三自由度设备时，可将相邻的驱动预载活塞对以机械方式连接在一起，使它们一起运动。外部力发生器也会由此而被连接，从而对称地将它的力施加到该驱动预载活塞对上。

如果驱动预载活塞的力被设置成大于相对的被动预载活塞的力，那么外部力发生器必须提供一个额外的稳态力以使得所有稳定状态力的总和为零。外部的振荡器将不得不在驱动预载活塞上施加一个暂时的压力负载。当测试开始时，外部力发生器将它的力作为压缩力施加到驱动预载活塞上。振荡器的力和这个偏置力加在一起产生一个力（只

在一个方向上), 它大于外部力发生器单独作用在振动平台上的力。这种构造对例如冲击脉冲这样的测试会是有用的。

可以通过预载致动器的组合来产生的偏置选项包括: (1) 没有偏置负载, 也就是说, 驱动活塞力是由这里所描述的推拉式布置中的与之相等但相反的被动力来抵消的; (2) 负载偏置以抵消重力负载; (3) 负载偏置以在一个方向上(指向或离开外部力发生器)产生更大动力; 和(4) 受到抵消的预载以产生受控的角加速度。

预载力必须大于振荡器的力, 且对于电动振荡器或双重作用液压振荡器的用途来说必须“大小相等而方向相反”。对一个单端液压振荡器来说, 预载必须为有效缸内活塞力的一半。

如前所述, 外部力发生器可以包含多种装置以引入所需高频率振动。例如, 在本发明中可使用从如下制造商获得的电动振荡器: 美国加利福尼亚州 Anaheim 的 Ling Electronics; 美国康涅狄格州 Wallingford 的 Unholtz-Dickie; 英国的 LDS; 日本的 IMV; 以及德国的 RMS。可从美国华盛顿州 Burlington 的团队公司获得、且在美国专利 5,343,752 中描述的电动液压振荡器可被用作液压力发生器。

以上已描述的本发明涉及在笛卡儿坐标系内的振荡器的对准和使用。然而这里所包含的原理可被应用到多种从动力学上来说适当的方向。本发明不限于其元件位于互相垂直的方向。

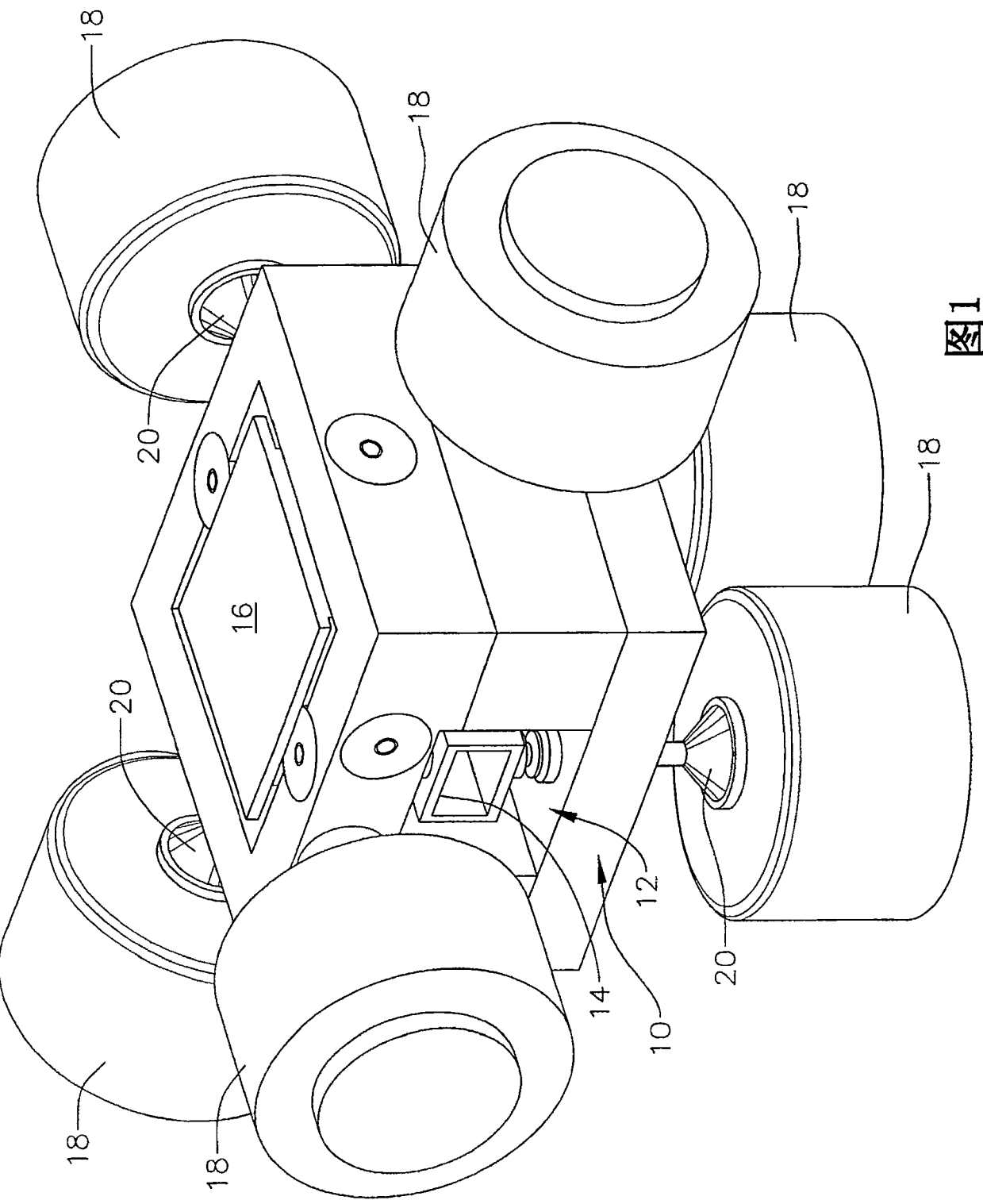


图1

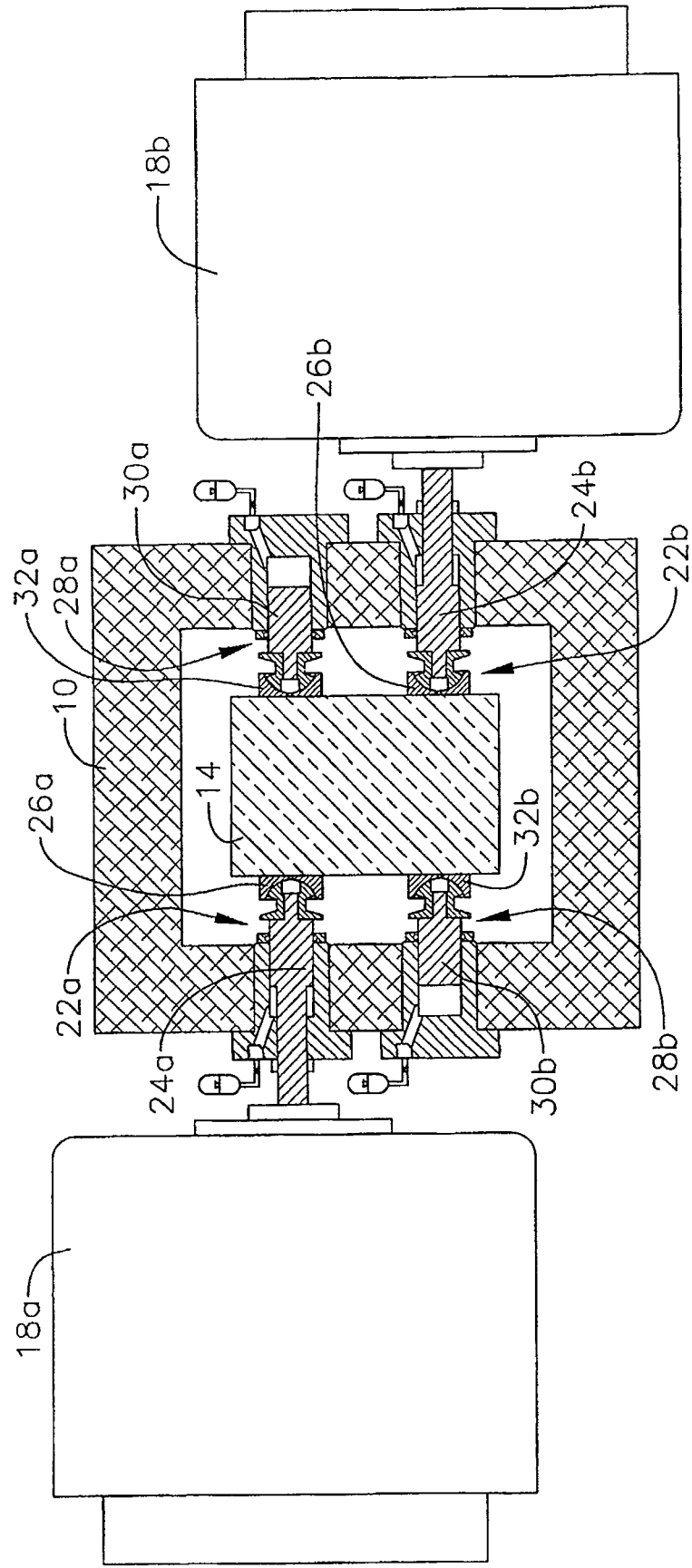


图2

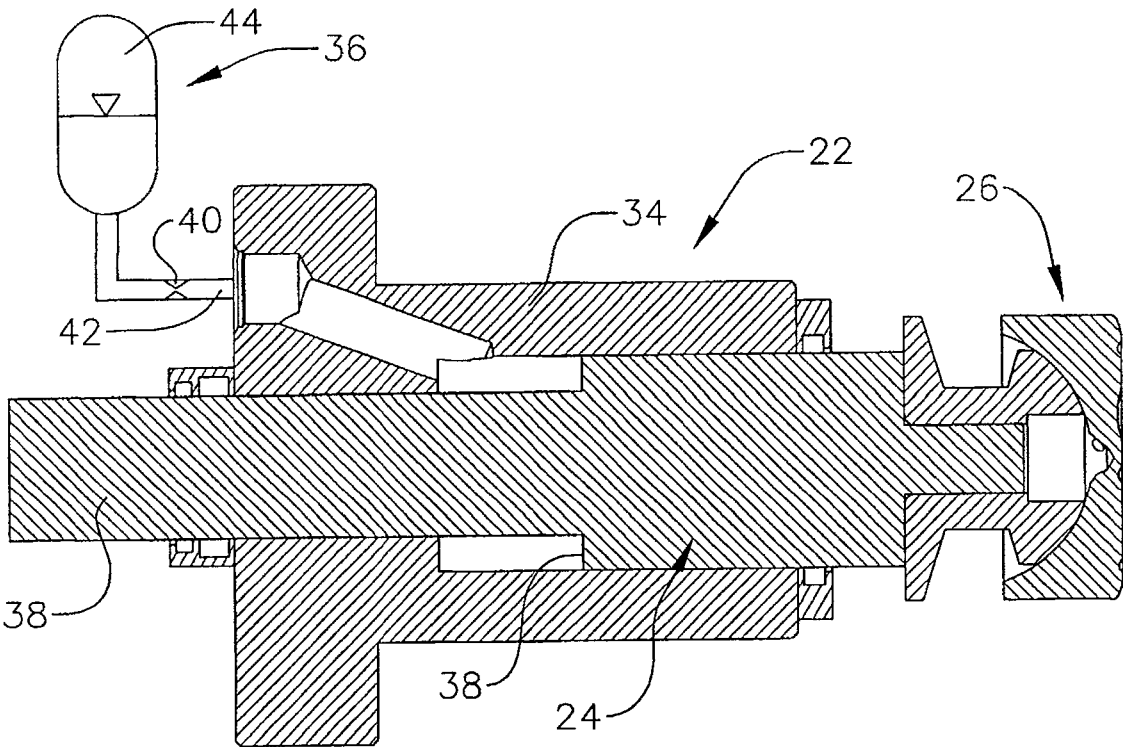


图3

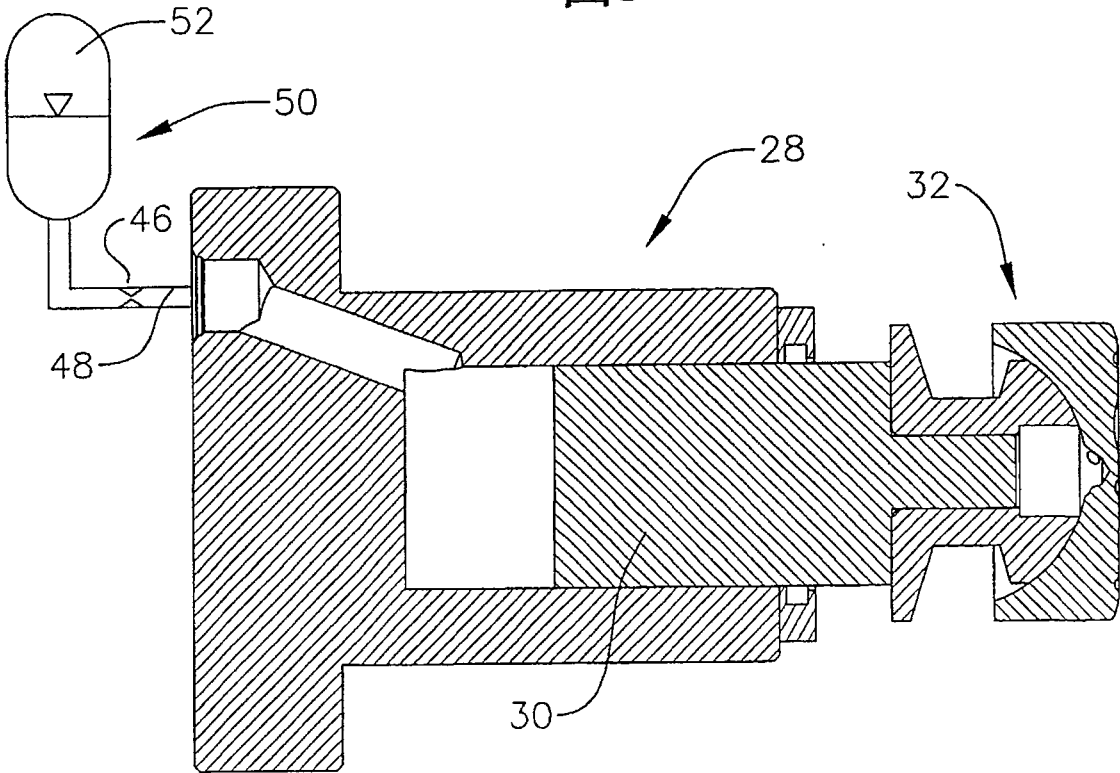


图4

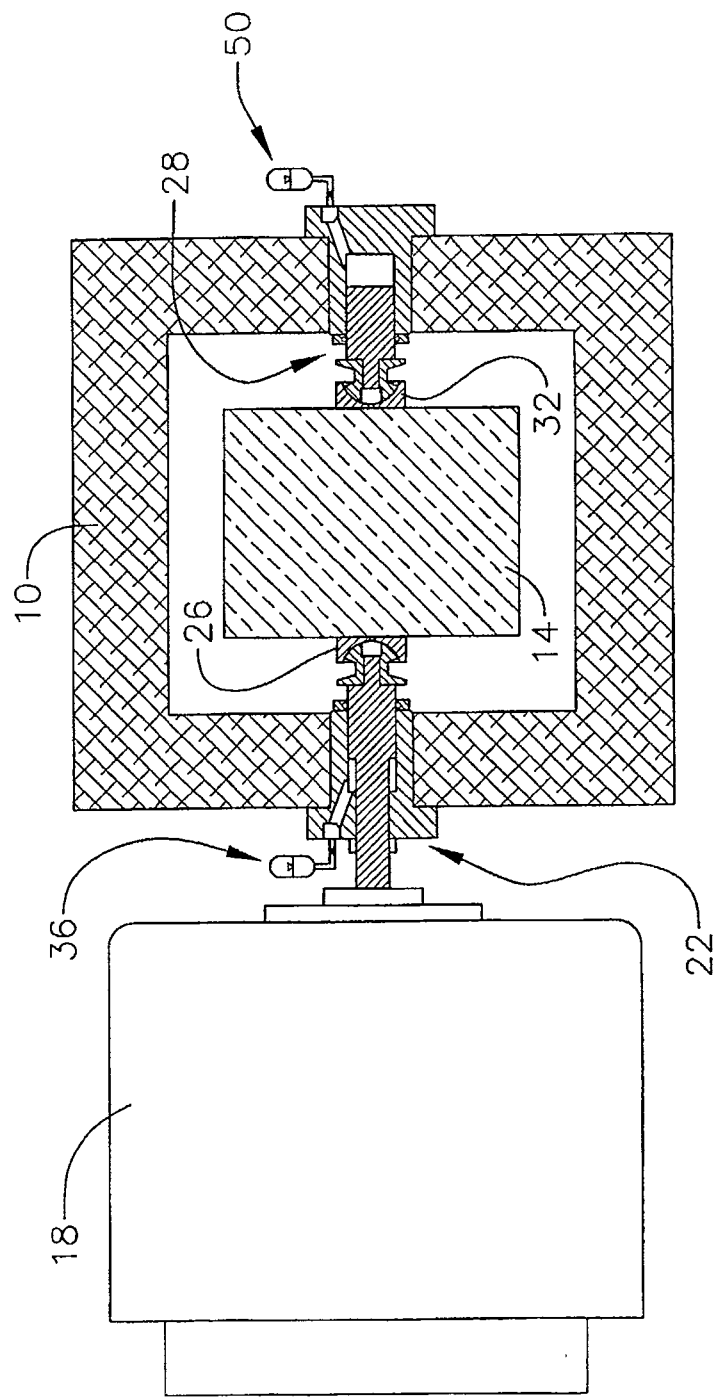


图5

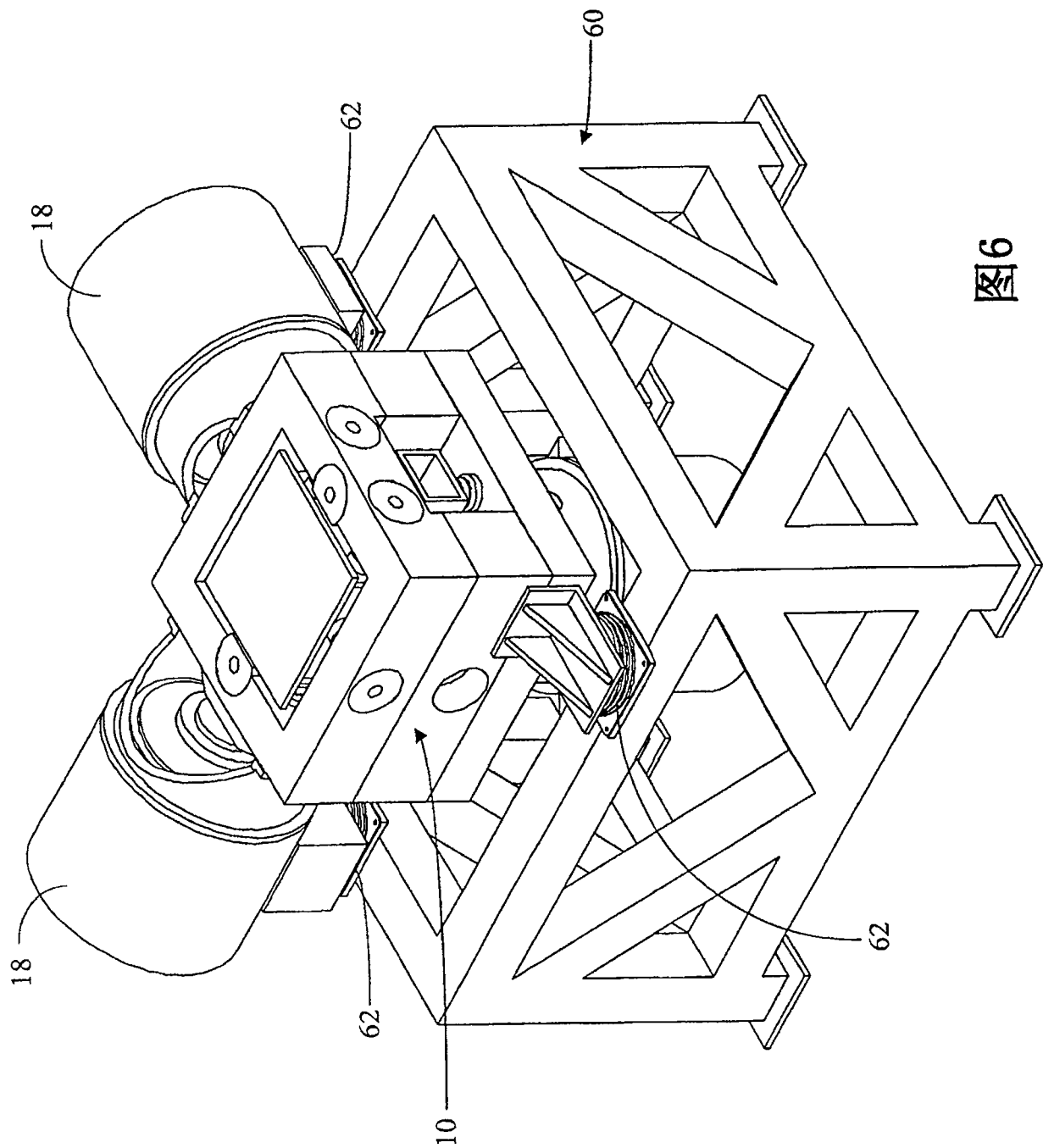


图6

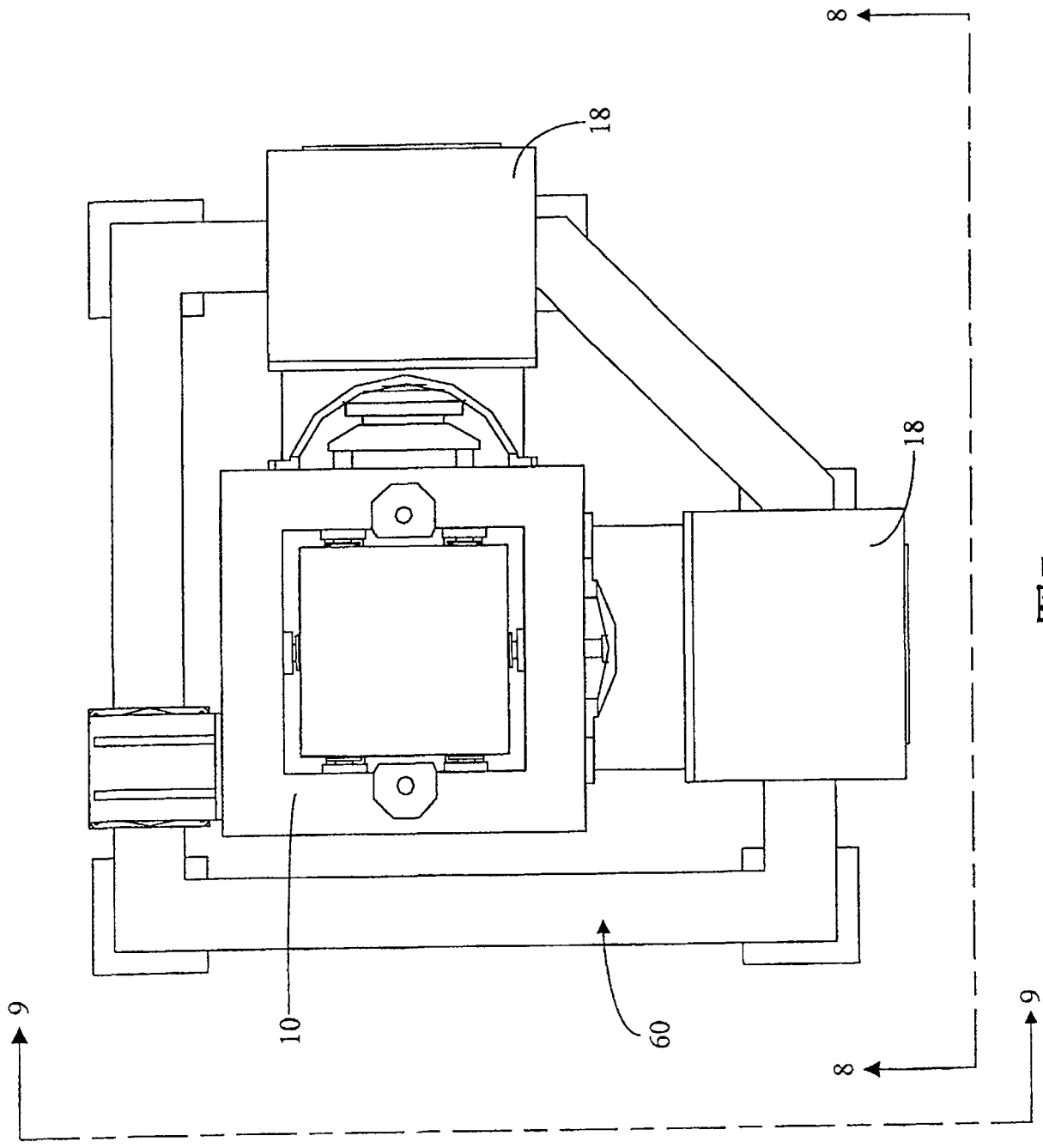


图7

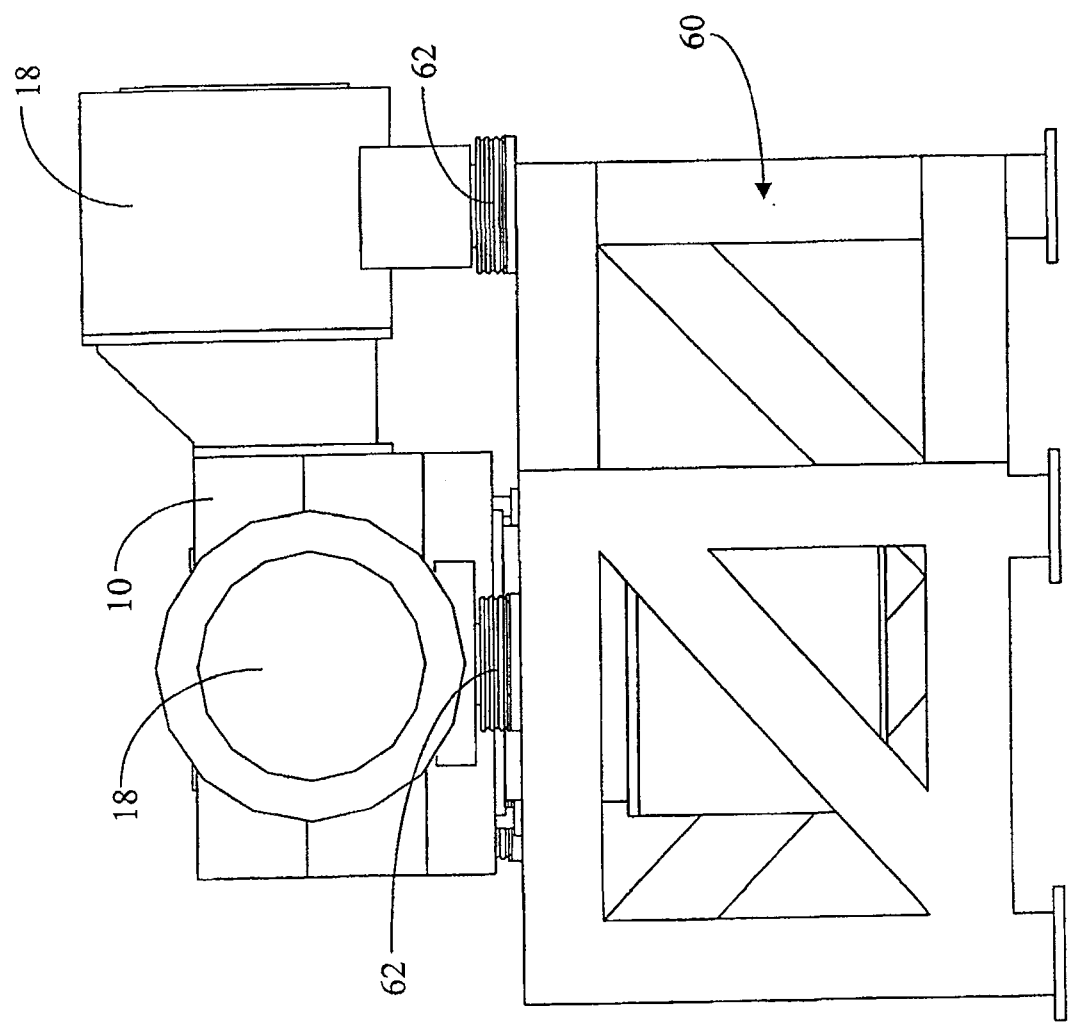


图8

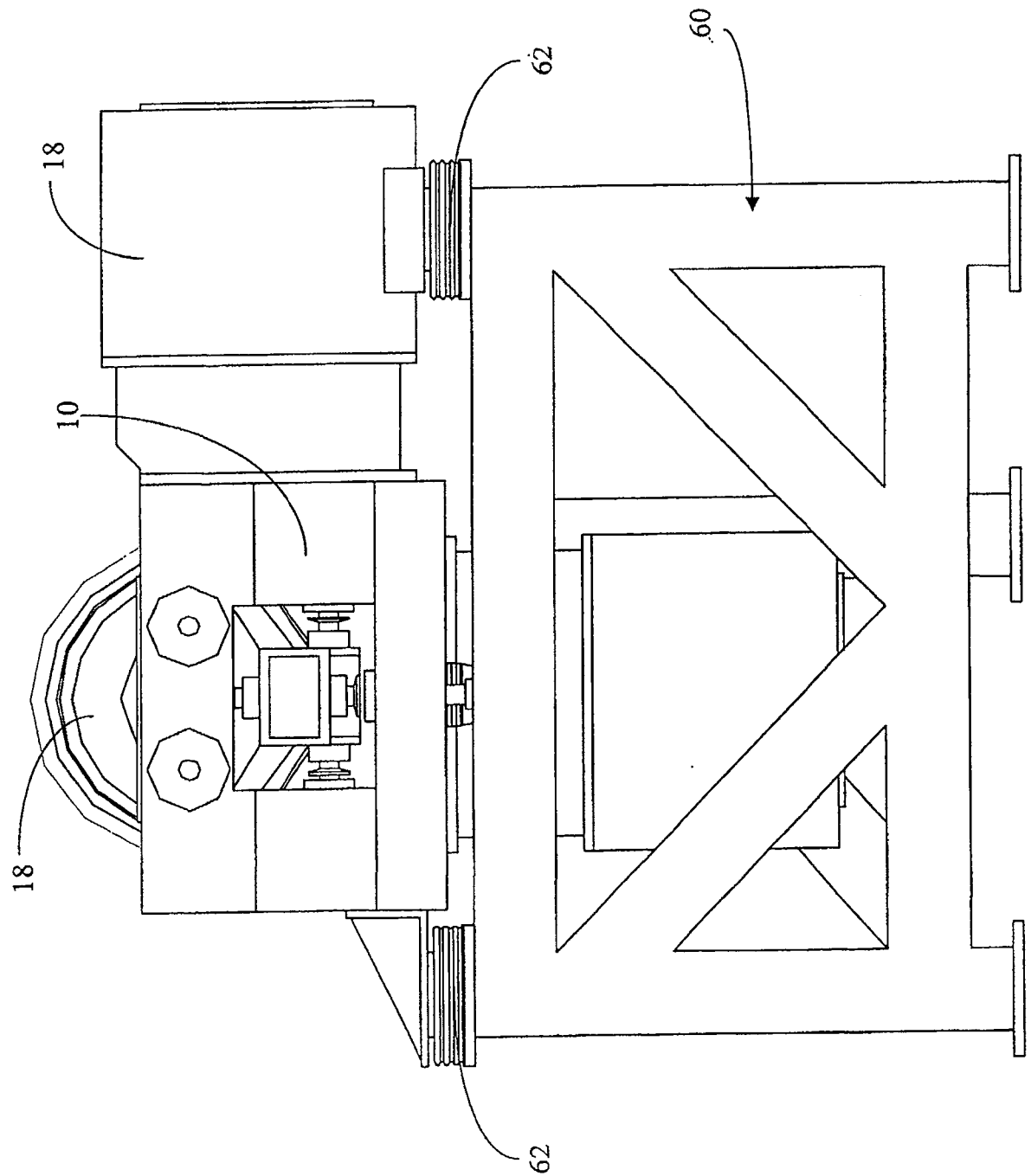


图9

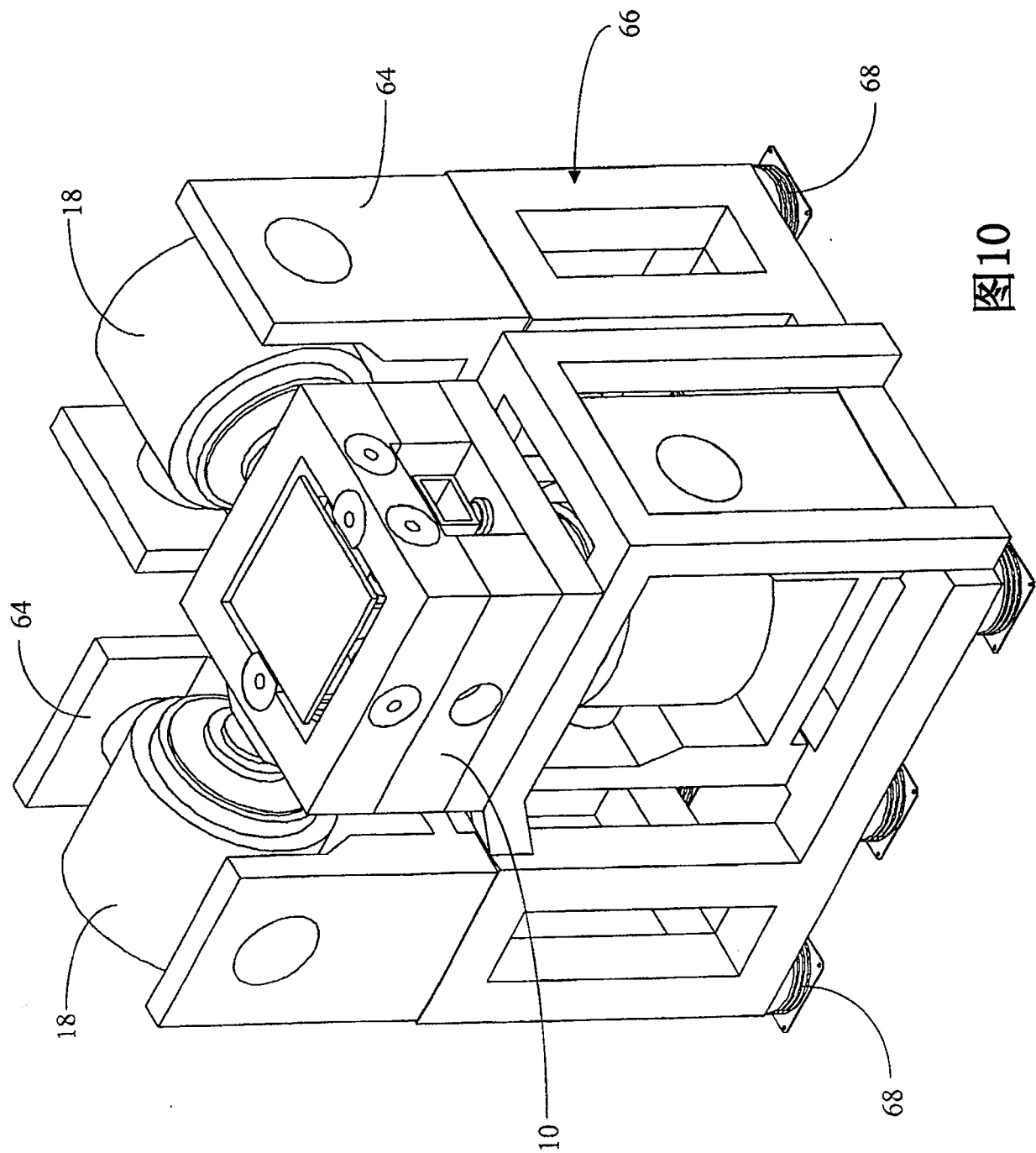


图10

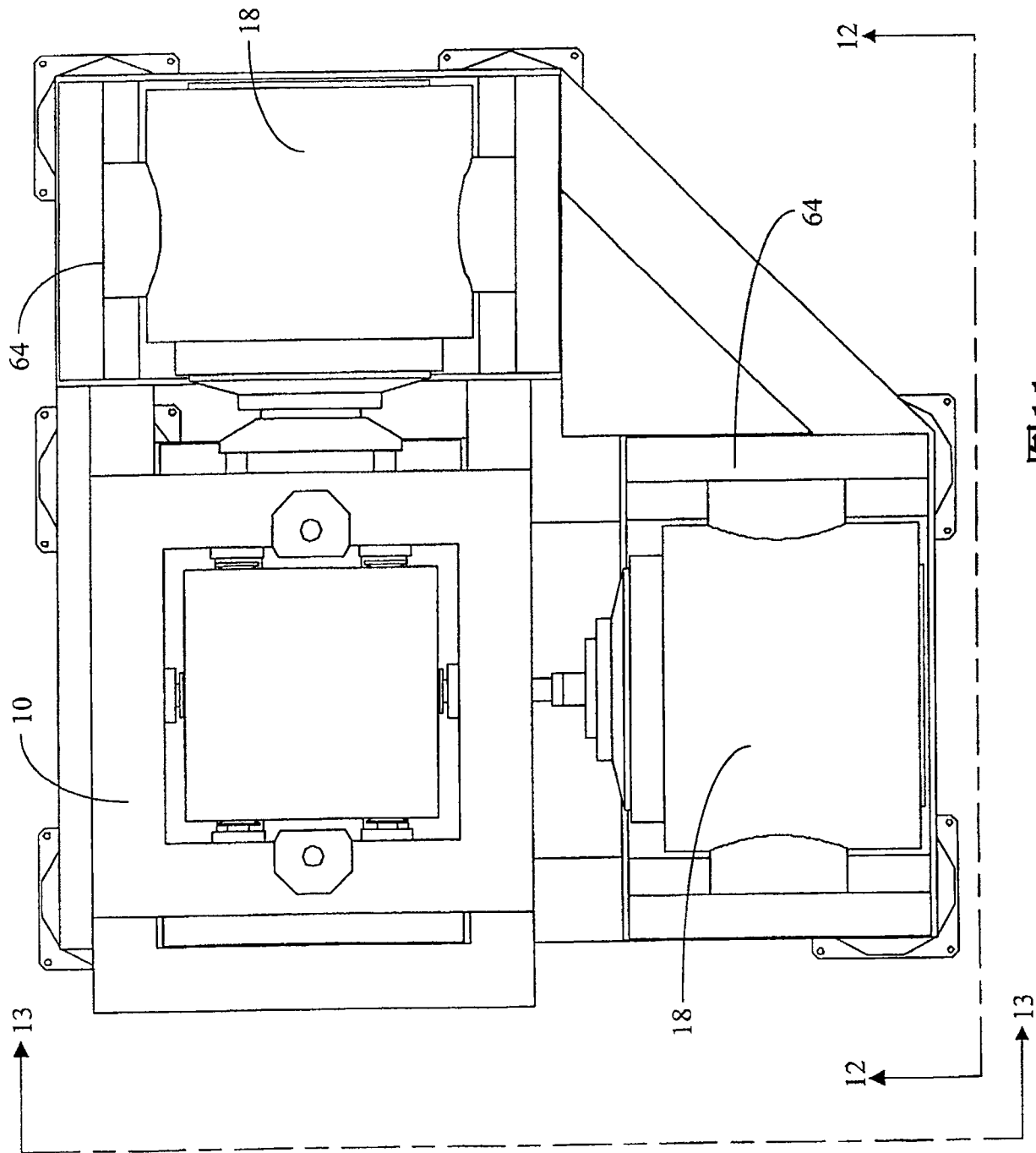


图11

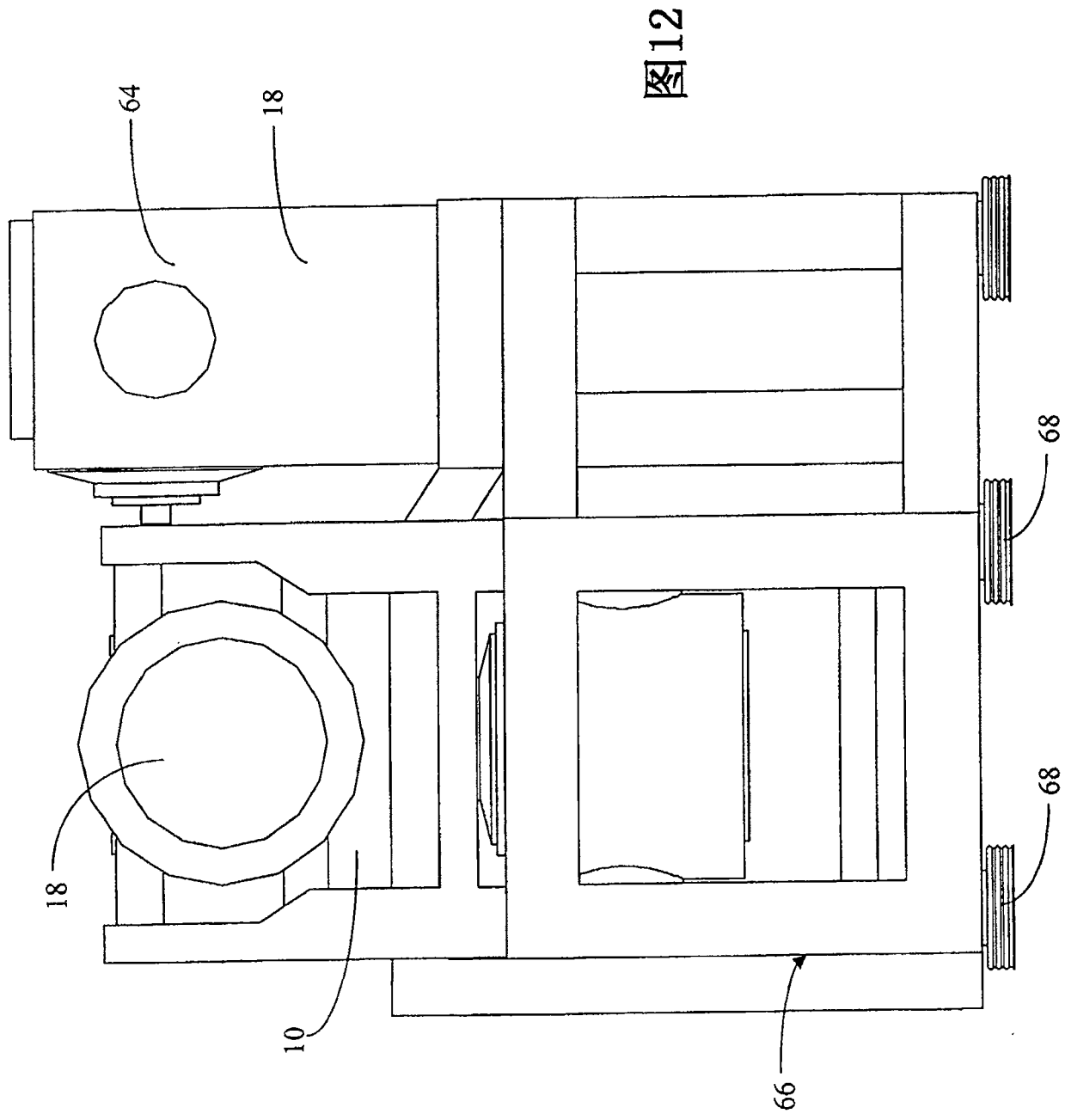


图12

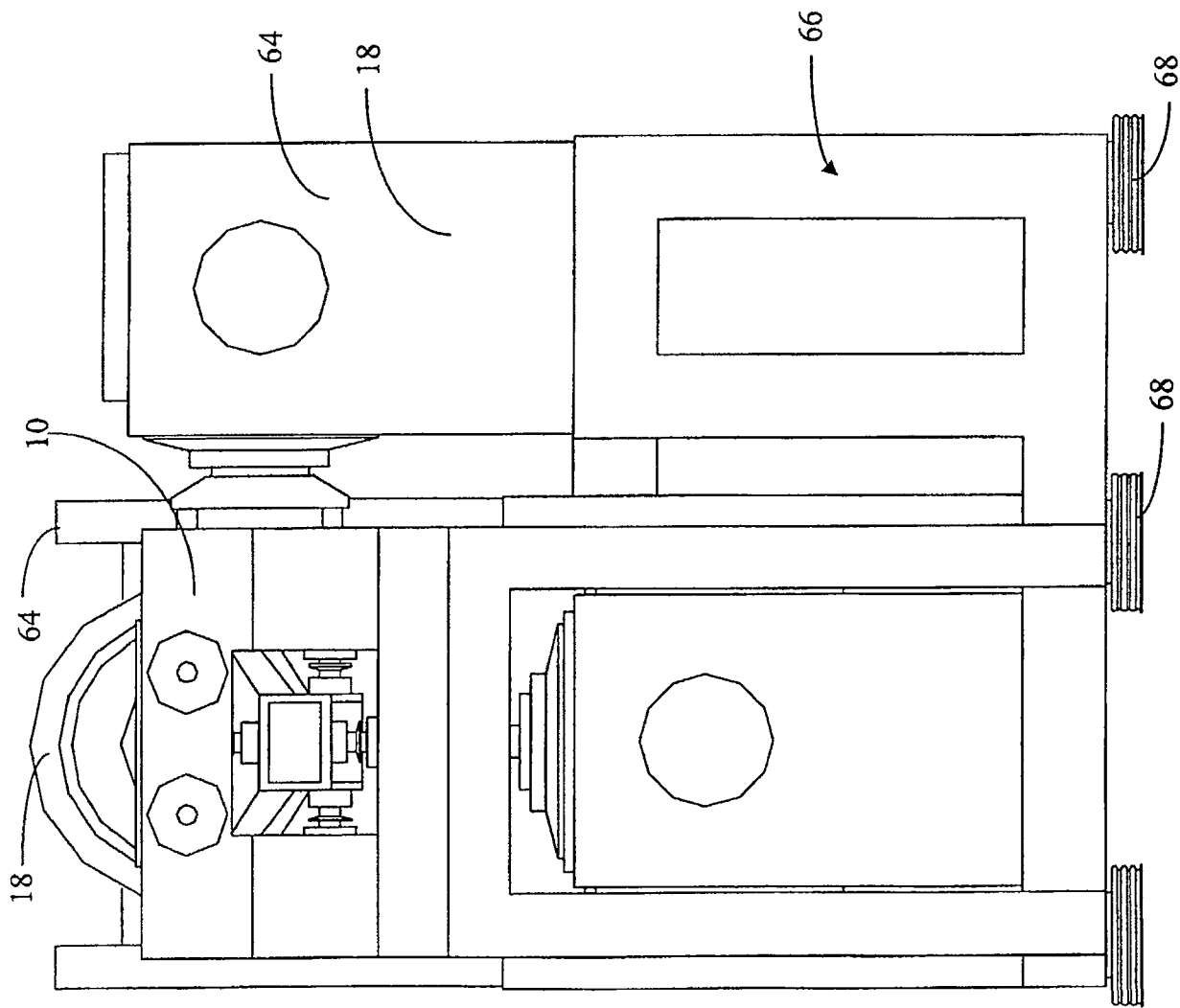


图13