

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织  
国际局

(43) 国际公布日  
2015年2月12日 (12.02.2015)



(10) 国际公布号  
WO 2015/018236 A1

- (51) 国际专利分类号:  
F16F 15/04 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2014/080358
- (22) 国际申请日: 2014年6月20日 (20.06.2014)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:  
201310343083.X 2013年8月7日 (07.08.2013) CN
- (71) 申请人: 华中科技大学 (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。
- (72) 发明人: 陈学东 (CHEN, Xuedong); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 李子龙 (LI, Zilong); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 徐振高 (XU, Zhengao); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 武文山 (WU, Wenshan); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 李海 (LI, Hai); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。
- (74) 代理人: 武汉东喻专利代理事务所 (普通合伙) (WUHAN DONGYU PATENT AGENCY); 中国湖北省武汉洪山珞喻路 1037 号东一楼 340, Hubei 430074 (CN)。
- (81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。
- (84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ,

[见续页]

(54) Title: SIX-DEGREE-OF-FREEDOM ACTIVE VIBRATION ISOLATION APPARATUS

(54) 发明名称: 一种六自由度主动隔振装置

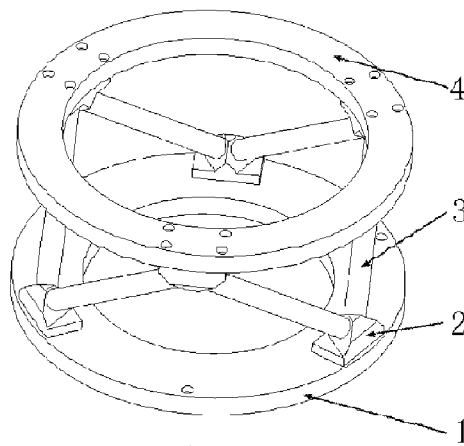


图 1 / Fig.1

(57) Abstract: A six-degree-of-freedom active vibration isolation apparatus comprises a lower platform (1), an upper platform (4), and six support legs (3). The six support legs (3) are separately connected to the upper platform (4) and the lower platform (1) by using fixing blocks (2) to form a Stewart parallel mechanism. Positions of the three fixing blocks (2) on the lower platform (1) form an equilateral triangle, positions of the three fixing blocks (2) on the upper platform (4) also form an equilateral triangle, the six support legs (3) have same structures, and two adjacent support legs (3) are mutually vertical with each other. Each support leg (3) comprises an active executor and an air spring, the active executor and the air spring form a parallel structure, and the air spring is used as a passive vibration isolation part. The apparatus uses a mode of combining active vibration isolation and passive vibration isolation, can realize an ultra-low inherent frequency, and can effectively isolate the vibration with a frequency exceeding the inherent frequency, can realize good attenuation on the six-degree-of-freedom vibration, and can implement the precise positioning of six degrees of freedom.

(57) 摘要:

[见续页]



WO 2015/018236 A1



BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

**本国际公布:**

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

---

一种六自由度主动隔振装置，包括下平台（1）、上平台（4）和六条支腿（3）；六条支腿（3）分别通过固定块（2）与上平台（4）及下平台（1）连接，构成史都华并联机构；在下平台（1）上的三个固定块（2）的位置形成等边三角形，在上平台（4）上的三个固定块（2）的位置也形成等边三角形，六条支腿（3）结构相同，相邻的两支腿（3）互相垂直；各支腿（3）均包括主动执行器和空气弹簧，主动执行器与空气弹簧形成并联结构，其中空气弹簧作为被动隔振部件。本隔振装置采用主动和被动隔振组合方式，可实现超低频的固有频率，能对超过固有频率的振动进行有效的隔离；能够实现对六个自由度振动的良好衰减，实现六自由度的精确定位。

## 一种六自由度主动隔振装置

### **【技术领域】**

本发明属于超精密减振技术领域，具体涉及一种六自由度主动隔振装置。本发明所涉及的六自由度主动隔振装置具有隔振和定位功能，能够用于光刻机、精密机床、精密测量设备和航空航天精密仪器等高精度设备的隔振。

### **【背景技术】**

随着科学技术的不断发展，以 IC 制造装备、高分辨率电子显微镜、表面粗糙度测试仪和精密光学设备等为代表的精密制造设备、精密测量设备得到了越来越广泛的应用，其对精度的要求越来越高。作为实现高精度的重要基础设备，隔振装置能隔离地基和环境振动对精密设备的影响，给振动敏感的设备提供“安静”的工作环境，保证精密设备的正常运行。

中国专利文献 CN 101382178（公开号）公开了一种主动减振隔振装置及主动减振隔振系统，该专利文献采用三个或多个主动减振隔振装置构成减振系统支撑负载，实现负载的六自由度减振与隔振，该技术的主要问题是减振系统由多个减振装置组成，体积庞大、成本高。

中国专利文献 CN 101398052（公开号）公开了一种重载精密减振器及其构成的减振系统，该专利文献采用空气弹簧作为垂向被动隔振部件，倒立摆作为水平向被动隔振部件，直线电机作为主动执行器，该专利的主要问题是，在水平方向上只有直线电机输出主动控制力，因此在水平方向上的主动力较小，限制了减振系统在水平方向上的隔振和定位功能。

美国专利 US5844664（公开号）公开了一种减振系统，该减振系统由多个减振器组成，每个减振器由空气弹簧和直线电机组合构成，该专利文献的主要问题是，一个减振系统由多个减振器构成，体积庞大，无法应用于航空等空间受限制的情况下，其成本也较大。

德国比尔茨公司 (<http://www.bilz.ag/en>) 公开的产品 AIS 减振系统采用的是全空气弹簧隔振, 其采用三个或三个以上的减振器组成一个减振系统, 单个减振器中包含有一个垂向空气弹簧和 4 个水平向空气弹簧, 一套系统至少包含 15 个空气弹簧, 该方案能提供较大的水平向出力, 但其结构复杂, 成本较高。

总之上述公开文献对于隔振有作用, 但体积较大, 不方便使用。

### 【发明内容】

本发明提供了一种六自由度主动隔振装置, 该隔振装置能在六自由度上实现对低频扰动的有效抑制和高频振动的隔离, 而且具有六自由度精密定位功能。

本发明提供的一种六自由度主动隔振装置, 其特征在于, 该装置包括下平台、上平台和六条支腿; 六条支腿分别通过固定块与上平台及下平台连接, 构成史都华并联机构; 在下平台上的三个固定块的位置形成等边三角形, 在上平台上的三个固定块的位置也形成等边三角形, 六条支腿结构相同, 相邻的两支腿互相垂直; 各支腿均包括主动执行器和空气弹簧, 主动执行器与空气弹簧形成并联结构, 其中空气弹簧作为被动隔振部件。

作为上述技术方案的改进, 所述支腿包括下柔性块、空气弹簧壳体、进气孔、密封膜、活塞体、压环、柔性圆片、负载连接板、非接触式位移传感器、主动执行器、速度传感器和上柔性块; 下柔性块位于支腿下部, 空气弹簧壳体底部与下柔性块连接, 空气弹簧壳体开有进气孔; 压环将密封膜压紧在空气弹簧壳体上表面上, 密封膜内圈与活塞体连接; 由空气弹簧壳体、密封膜、活塞体、压环及进气孔共同构成一个空气弹簧; 柔性圆片外圆部分与压环连接, 其中心部分与活塞体连接, 活塞体的运动方向只能为支腿的长度方向; 负载连接板下部与活塞体上部连接, 负载连接板的上部与上柔性块连接; 非接触式位移传感器固定于压环上, 检测负载连接板的位移变化; 速度传感器固定于负载连接板上; 主动执行器两端分别与

负载连接板和压环固定连接。

本发明采用空气弹簧作为隔振装置的被动隔振部件，由于气体的可压缩性，空气弹簧具有低刚度的优点，能对高于空气弹簧频率的振动进行有效的衰减。空气弹簧体积越大，因振动引起的体积和压力的相对变化越小，可以实现的刚度就越低，隔振效果越好。将空气弹簧尽可能的布置到整个支腿空间中以扩大空气弹簧的体积，使隔振装置具有较低的固有频率。

本发明采用空气弹簧提供承载和低频被动隔振功能，六条支腿与上、下平台组成 Stewart（史都华）并联机构，隔振装置能够在六个自由度上实现隔振和定位的功能。

具体而言，本发明具有以下的技术效果：

1) 采用主动和被动隔振组合方式，可实现超低频的固有频率，能对超过固有频率的振动进行有效的隔离；

2) 采用主动执行器与被动隔振部件并联的方式，实现精密定位的功能；

3) 提出的六支腿和上、下平台组成的隔振装置可以实现六自由度、超低频、高衰减的精密减振，比多个隔振器组合形成的隔振系统具有结构紧凑、体积小、成本低、六自由度定位的优点；

4) 优选的技术方案采用无摩擦、无间隙的柔性块实现球铰链的功能，避免了球铰链的摩擦和间隙碰撞给精密隔振带来的不利影响；

5) 优选的的技术方案采用柔性圆片作为空气弹簧活塞体的导向机构，使活塞体的运动方向只能为支腿的长度方向。

### 【附图说明】

图 1 是本发明一种六自由度主动隔振装置的示意图；

图 2 是支腿的一种具体实施方式的结构示意图；

图 3 是六自由度主动隔振装置的布置形式之一；

图 4 是 Stewart 并联机构布置形式设计图；

图 5 是柔性圆片的示意图；

图中，1 为下平台，2 为固定块，3 为支腿，4 为上平台，3.1 为下柔性块，3.2 为空气弹簧壳体，3.3 为进气孔，3.4 为密封膜，3.5 为活塞体，3.6 为压环，3.7 为柔性圆片，3.8 为负载连接板，3.9 为非接触式位移传感器，3.10 为音圈电机定子，3.11 为音圈电机动子，3.12 为速度传感器，3.13 为上柔性块。

### 【具体实施方式】

下面结合附图对本发明的具体实施方式作进一步说明。在此需要说明的是，对于这些实施方式的说明用于帮助理解本发明，但并不构成对本发明的限定。此外，下面所描述的本发明各个实施方式中所涉及到的技术特征只要彼此之间未构成冲突就可以相互组合。

本发明整体结构如图 1 所示，六自由度主动隔振装置由下平台 1、上平台 4、六个固定块 2 和六条支腿 3 组成。六条支腿 3 分别通过固定块 2 与上平台 1、下平台 4 连接，它们构成史都华（Stewart）并联机构。三个固定块 2 的位置在下平台 1 上形成等边三角形，另外三个固定块 2 的位置在上平台 4 上形成等边三角形，六条支腿 3 结构完全相同，相邻的两支腿互相垂直，这种分布使整个装置具有很好的对称性和稳定性。此布置形式可以通过图 4 来说明。正方体的六条边 AB、BC、CF、FE、EH、AH 可以作为六条支腿，顶点 A、B、C、F、E、H 作为 Stewart 并联机构的球铰链位置，三角形 ACE、三角形 BFH 为 Stewart 并联机构的上平台、下平台。在上平台 4 上有负载设备时，由于隔振平台的布置形式具有对称性，所以六条支腿中具有相同的支撑力。

如图 2 所示，本发明实例提供的支腿的结构包括下柔性块 3.1、空气弹簧壳体 3.2、进气孔 3.3、密封膜 3.4、活塞体 3.5、压环 3.6、柔性圆片 3.7、负载连接板 3.8、非接触式位移传感器 3.9、主动执行器、速度传感器 3.12 和上柔性块 3.13。

下柔性块 3.1 位于支腿下部，柔性块在支腿长度方向上具有很大的刚

度，而在两个弯曲方向上具有较低的刚度，柔性块在这里作为一种球铰链实现 Stewart 并联机构的运动。传统的球铰链存在摩擦、间隙等问题，对精密隔振会产生不利影响，而柔性块不存在摩擦和间隙的问题，通过合理的设计可以实现球铰链的功能。

空气弹簧壳体 3.2 底部与下柔性块 3.1 连接，空气弹簧壳体 3.2 开有进气孔 3.3。压环 3.6 将密封膜 3.4 压紧在空气弹簧壳体 3.2 上表面上，密封膜内圈与活塞体 3.5 连接。由空气弹簧壳体 3.2、密封膜 3.4、活塞体 3.5、压环 3.6 及进气孔 3.3 共同构成一个空气弹簧，空气弹簧作为隔振装置的被动隔振部件。柔性圆片 3.7 外圆部分与压环 3.6 连接，其中心部分与活塞体 3.5 连接，活塞体的运动方向只能为支腿的长度方向。柔性圆片 3.7 在轴向上具有低刚度、在径向上具有较大的刚度。如图 5 所示，柔性圆片 3.7 的形状为轮辐形，采用此种设计结构能够满足低轴向刚度和高径向刚度的要求。负载连接板 3.8 下部与活塞体 3.5 上部连接，负载连接板 3.8 的上部与上柔性块 3.13 连接。非接触式位移传感器 3.9 固定于压环 3.6 上，检测负载连接板 3.8 的位移变化。速度传感器 3.12 固定于负载连接板 3.8 上。主动执行器为由音圈电机定子 3.10、音圈电机动子 3.11 组成的音圈电机。音圈电机定子 3.10 固定于压环 3.6 上，音圈电机动子 3.11 固定于负载连接板 3.8 上，音圈电机动子 3.11 和音圈电机定子 3.10 的固定位置可以互换。同时，主动执行器也可以采用压电陶瓷、超磁致伸缩等主动作动器替换，替换时，将压电陶瓷或磁致伸缩灯器件的两端分别与负载连接板 3.8 和压环 3.6 固定连接，使主动执行器与空气弹簧形成并联结构。

六条支腿中，非接触式位移传感器 3.9 检测到负载连接板 3.8 在支腿长度方向上的伸缩位移，六条支腿在长度方向上的伸缩位移记为  $[q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6]$ 。用户关心的是上平台 4 的位移信息，这里需要通过一个传感器转换矩阵将每条支腿的伸缩位移转换为上平台 4 在六个自由度上（三

个平动、三个转动) 的坐标为  $[x, y, z, \theta_x, \theta_y, \theta_z]$ , 计算公式如下,

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ \theta_x \\ \theta_y \\ \theta_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -\frac{\sqrt{6}}{6} & \frac{\sqrt{6}}{6} & \frac{\sqrt{6}}{6} & -\frac{\sqrt{6}}{6} \\ \frac{\sqrt{2}}{3} & -\frac{\sqrt{2}}{3} & -\frac{\sqrt{2}}{6} & \frac{\sqrt{2}}{6} & -\frac{\sqrt{2}}{6} & \frac{\sqrt{2}}{6} \\ \frac{\sqrt{3}}{6} & \frac{\sqrt{3}}{6} & \frac{\sqrt{3}}{6} & \frac{\sqrt{3}}{6} & \frac{\sqrt{3}}{6} & \frac{\sqrt{3}}{6} \\ -\frac{\sqrt{6}}{6L} & \frac{\sqrt{6}}{6L} & \frac{\sqrt{6}}{3L} & \frac{\sqrt{6}}{6L} & -\frac{\sqrt{6}}{6L} & -\frac{\sqrt{6}}{3L} \\ -\frac{\sqrt{2}}{2L} & -\frac{\sqrt{2}}{2L} & 0 & \frac{\sqrt{2}}{2L} & \frac{\sqrt{2}}{2L} & 0 \\ \frac{\sqrt{3}}{6L} & -\frac{\sqrt{3}}{6L} & \frac{\sqrt{3}}{6L} & -\frac{\sqrt{3}}{6L} & \frac{\sqrt{3}}{6L} & -\frac{\sqrt{3}}{6L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \\ q_5 \\ q_6 \end{bmatrix}$$

通过以上公式, 可以知道上平台 4 在六个自由度上的位移信息。用户设定的上平台 4 的位置信息是在上平台 4 的六自由度上的, 而非设置六条支腿各自的伸缩位移, 这就需要一个逆矩阵来将设定的位移转换到六条支腿伸缩位移上, 其计算公式如下

$$\begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \\ q_5 \\ q_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{6}}{6} & \frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{3}}{3} & 0 & -\frac{\sqrt{2}}{3}L & \frac{\sqrt{3}}{3}L \\ \frac{\sqrt{6}}{6} & -\frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{3}}{3} & 0 & -\frac{\sqrt{2}}{3}L & -\frac{\sqrt{3}}{3}L \\ -\frac{\sqrt{6}}{3} & 0 & \frac{\sqrt{3}}{3} & \frac{\sqrt{6}}{6}L & \frac{\sqrt{2}}{6}L & \frac{\sqrt{3}}{3}L \\ \frac{\sqrt{6}}{6} & \frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{3}}{3} & \frac{\sqrt{6}}{6}L & \frac{\sqrt{2}}{6}L & -\frac{\sqrt{3}}{3}L \\ \frac{\sqrt{6}}{6} & -\frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{3}}{3} & -\frac{\sqrt{6}}{6}L & \frac{\sqrt{2}}{6}L & \frac{\sqrt{3}}{3}L \\ -\frac{\sqrt{6}}{3} & 0 & \frac{\sqrt{3}}{3} & -\frac{\sqrt{6}}{6}L & \frac{\sqrt{2}}{6}L & -\frac{\sqrt{3}}{3}L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ \theta_x \\ \theta_y \\ \theta_z \end{bmatrix},$$

非接触式位移传感器 3.9 检测到的六条支腿的位移反馈给精密气动调节系统, 通过进气孔 3.3 给空气弹簧供气或者排气增大或者减小空气弹簧的体积, 实现对被隔振设备的精密定位。

速度传感器 3.9 检测每条支腿负载连接板 3.8 上的绝对速度, 通过传感

器转换矩阵，转换为上平台的六自由度上的绝对速度，反馈形成上平台六自由度上的电机控制力信号，该控制信号是名义上的控制信号，并没有上平台六自由度电机与之对应，该控制信号需经过力转换矩阵转换到六条支腿的音圈电机上，计算矩阵如下，

$$\begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ f_4 \\ f_5 \\ f_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{\sqrt{2}}{3} & \frac{\sqrt{3}}{6} & -\frac{\sqrt{6}}{6L} & -\frac{\sqrt{2}}{2L} & \frac{\sqrt{3}}{6L} \\ 0 & -\frac{\sqrt{2}}{3} & \frac{\sqrt{3}}{6} & \frac{\sqrt{6}}{6L} & -\frac{\sqrt{2}}{2L} & -\frac{\sqrt{3}}{6L} \\ -\frac{\sqrt{6}}{6} & -\frac{\sqrt{2}}{6} & \frac{\sqrt{3}}{6} & \frac{\sqrt{6}}{3L} & 0 & \frac{\sqrt{3}}{6L} \\ \frac{\sqrt{6}}{6} & \frac{\sqrt{2}}{6} & \frac{\sqrt{3}}{6} & \frac{\sqrt{6}}{6L} & \frac{\sqrt{2}}{2L} & -\frac{\sqrt{3}}{6L} \\ \frac{\sqrt{6}}{6} & -\frac{\sqrt{2}}{6} & \frac{\sqrt{3}}{6} & -\frac{\sqrt{6}}{6L} & \frac{\sqrt{2}}{2L} & \frac{\sqrt{3}}{6L} \\ -\frac{\sqrt{6}}{6} & \frac{\sqrt{2}}{6} & \frac{\sqrt{3}}{6} & -\frac{\sqrt{6}}{3L} & 0 & -\frac{\sqrt{3}}{6L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \\ M_x \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix}$$

六条支腿上的音圈电机产生的阻尼力 $[f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6]$ 降低了上平台六自由度上的振动、抑制了被隔振设备的振幅。其中， $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$ 分别表示上平台4所受的x, y, z三个方向的力， $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$ 分别表示上平台4所受的绕x, y, z的转动力矩。

本发明可以实现对低频振动的有效隔离，并实现六个自由度精密定位，对于精密加工、精密测量、光学实验、航空航天等对位置精度有特殊要求的领域而言，该发明具有重要的作用。

以上所述为本发明的较佳实施例而已，但本发明不应该局限于该实施例和附图所公开的内容。所以凡是不脱离本发明所公开的精神下完成的等效或修改，都落入本发明保护的范围。

## 权 利 要 求 书

1、一种六自由度主动隔振装置，其特征在于，该装置包括下平台（1）、上平台（4）和六条支腿（3）；六条支腿（3）分别通过固定块与上平台（1）及下平台（4）连接，构成史都华并联机构；在下平台（1）上的三个固定块的位置形成等边三角形，在上平台（4）上的三个固定块的位置也形成等边三角形，六条支腿（3）结构相同，相邻的两支腿互相垂直，各支腿（3）均包括主动执行器和空气弹簧，主动执行器与空气弹簧形成并联结构，其中空气弹簧作为被动隔振部件。

2、根据权利要求（1）所述的六自由度主动隔振装置，其特征在于，所述支腿（3）包括下柔性块（3.1）、空气弹簧壳体（3.2）、进气孔（3.3）、密封膜（3.4）、活塞体（3.5）、压环（3.6）、柔性圆片（3.7）、负载连接板（3.8）、非接触式位移传感器（3.9）、主动执行器、速度传感器（3.12）和上柔性块（3.13）；

下柔性块（3.1）位于支腿下部，空气弹簧壳体（3.2）底部与下柔性块（3.1）连接，空气弹簧壳体（3.2）开有进气孔（3.3）；压环（3.6）将密封膜（3.4）压紧在空气弹簧壳体（3.2）上表面上，密封膜内圈与活塞体（3.5）连接；由空气弹簧壳体（3.2）、密封膜（3.4）、活塞体（3.5）、压环（3.6）及进气孔（3.3）共同构成一个空气弹簧；柔性圆片（3.7）外圆部分与压环（3.6）连接，其中心部分与活塞体（3.5）连接，活塞体（3.5）的运动方向只能为支腿的长度方向；负载连接板（3.8）下部与活塞体（3.5）上部连接，负载连接板（3.8）的上部与上柔性块（3.13）连接；非接触式位移传感器（3.9）固定于压环（3.6）上，检测负载连接板（3.8）的位移变化；速度传感器（3.12）固定于负载连接板（3.8）上；主动执行器两端分别与负载连接板（3.8）和压环（3.6）固定连接。

3、根据权利要求 2 所述的六自由度主动隔振装置，其特征在于，柔性圆片（3.7）的形状为轮辐形。

4、根据权利要求 2 所述的六自由度主动隔振装置，其特征在于，主动执行器为由音圈电机定子（3.11）、音圈电机动子（3.11）组成的音圈电机；音圈电机定子（3.11）固定于压环（3.6）上，音圈电机动子（3.11）固定于负载连接板（3.8）上。

5、根据权利要求 2 所述的六自由度主动隔振装置，其特征在于，主动执行器为由音圈电机定子（3.11）和音圈电机动子（3.11）组成的音圈电机；音圈电机动子（3.11）固定于压环（3.6）上，音圈电机定子（3.11）固定于负载连接板（3.8）上。

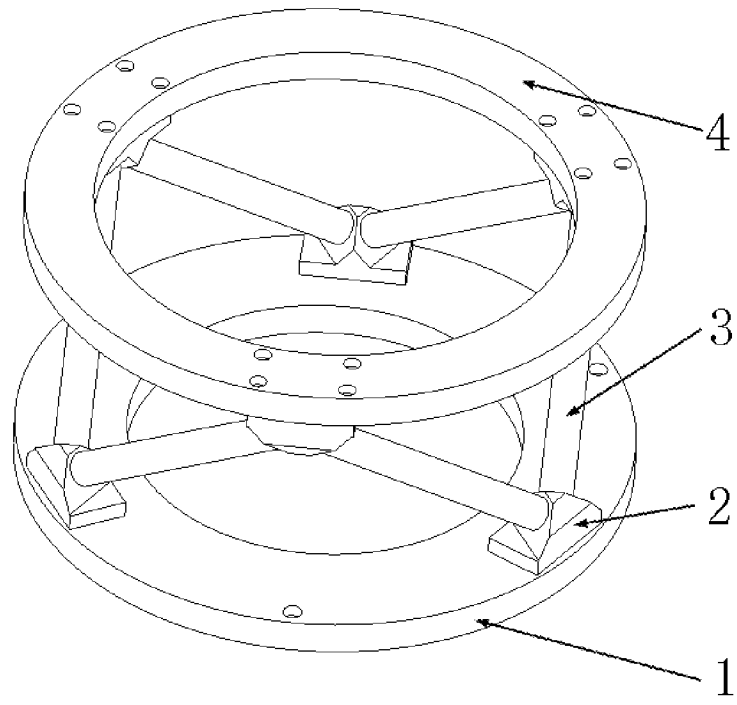


图 1

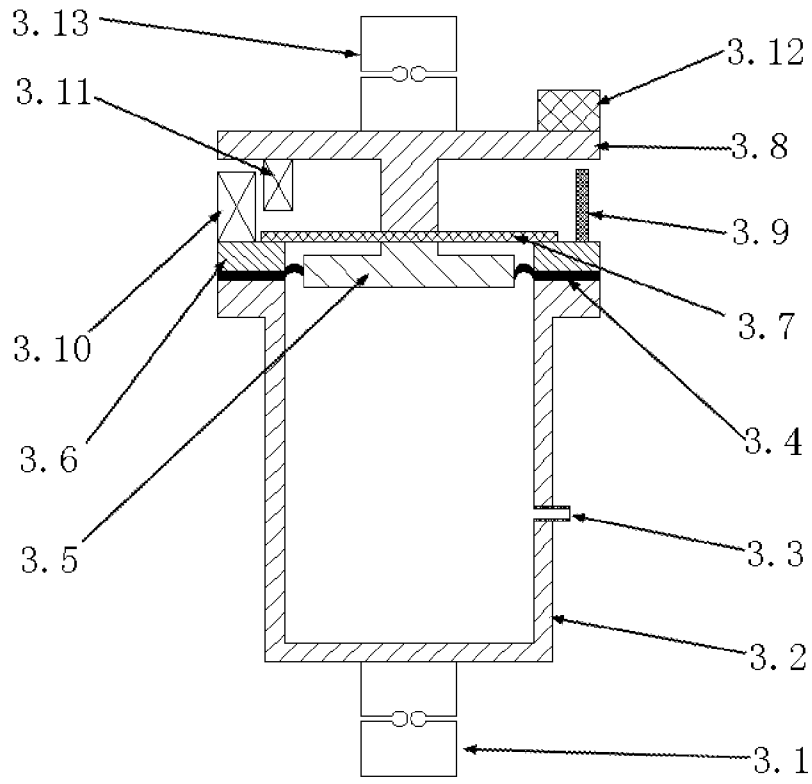


图 2

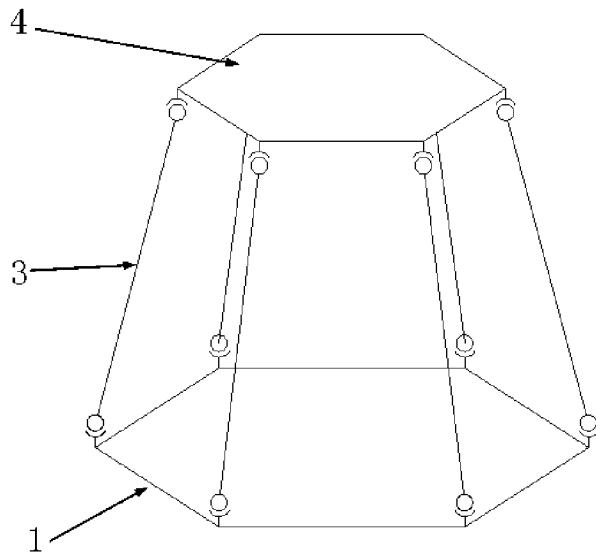


图 3

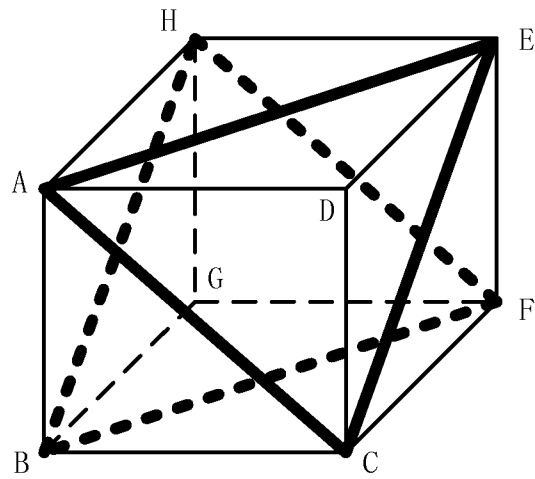


图 4

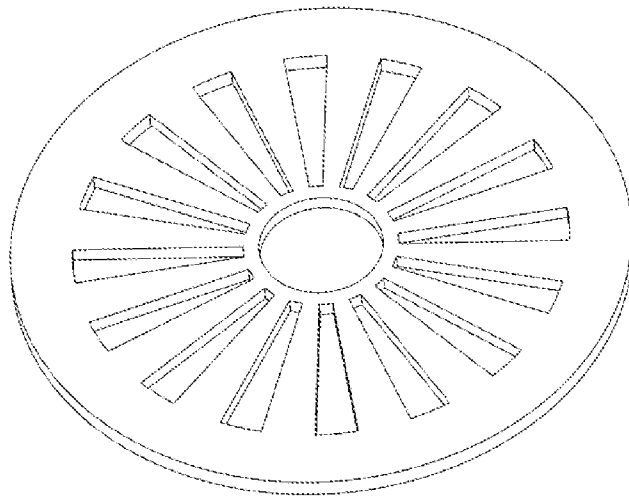


图 5

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/CN2014/080358**

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F16F 15/04 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F16F+

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS; VEN: HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY; LI, Zilong; XU, Zhengao; LI, Hai; CHEN, Xuedong; WU, Wenshan; giant magnetostrictive, six degree of freedom, stewart, air spring, magnetoelastic, piezoelectric ceramic, voice coil motor, SIX, "6", freeness, freedom

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 103438142 A (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY), 11 December 2013 (11.12.2013), claims 1-5	1-5
Y	CN 1587739 A (BEIJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS), 02 March 2005 (02.03.2005), description, page 3, line 23 to page 4, lines 1-31, and figures 1-7	1-5
Y	CN 101364052 A (SHANGHAI MICRO ELECTRONICS EQUIPMENT CO., LTD.), 11 February 2009 (11.02.2009), description, page 4, lines 7-11, and figures 1-2	1-5
Y	CN 101398636 A (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY), 01 April 2009 (01.04.2009), claim 1, and figure 1	4-5
A	CN 102141110 A (BEIJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS), 03 August 2011 (03.08.2011), the whole document	1-5
A	JP 1089403 A (NIPPON KOGAKU KK), 07 April 1998 (07.04.1998), the whole document	1-5
A	CN 101476611 A (BEIJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS), 08 July 2009 (08.07.2009), the whole document	1-5

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>“&amp;” document member of the same patent family</p>
---	---

Date of the actual completion of the international search  
02 September 2014 (02.09.2014)

Date of mailing of the international search report  
**17 September 2014 (17.09.2014)**

Name and mailing address of the ISA/CN:  
State Intellectual Property Office of the P. R. China  
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao  
Haidian District, Beijing 100088, China  
Facsimile No.: (86-10) 62019451

Authorized officer  
**LIU, Jinna**  
Telephone No.: (86-10) **62085366**

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
Information on patent family members

International application No.

**PCT/CN2014/080358**

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 103438142 A	11 December 2013	None	
CN 1587739 A	02 March 2005	CN 1320290 C	06 June 2007
CN 101364052 A	11 February 2009	CN 101364052 B	27 October 2010
CN 101398636 A	01 April 2009	CN 100573341 C	23 December 2009
CN 102141110 A	03 August 2011	CN 102141110 B	03 October 2012
JP 1089403 A	07 April 1998	US 6036162 A	14 March 2000
		JPH 1089403 A	07 April 1998
CN 101476611 A	08 July 2009	CN 101476611 B	16 June 2010

A. 主题的分类 F16F 15/04(2006.01) i  按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类		
B. 检索领域 检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号) F16F+  包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献		
在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用)) CNABS;VEN:华中科技大学, 李子龙, 徐振高, 李海, 陈学东, 武文山, 史都华, 空气弹簧, 超磁致伸缩, 压电陶瓷, 音圈电机, 六自由度, stewart, air spring, magnetoelastic, piezoelectric ceramic, voice coil motor, six, "6", freeness, freedom		
C. 相关文件		
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 103438142 A (华中科技大学) 2013年 12月 11日 (2013 - 12 - 11) 权利要求1-5	1-5
Y	CN 1587739 A (北京航空航天大学) 2005年 3月 02日 (2005 - 03 - 02) 说明书第3页第23行至第4页第1-31行及图1-7	1-5
Y	CN 101364052 A (上海微电子装备有限公司) 2009年 2月 11日 (2009 - 02 - 11) 说明书第4页第7-11行及图1-2	1-5
Y	CN 101398636 A (华中科技大学) 2009年 4月 01日 (2009 - 04 - 01) 权利要求1及图1	4-5
A	CN 102141110 A (北京航空航天大学) 2011年 8月 03日 (2011 - 08 - 03) 全文	1-5
A	JP 1089403 A (NIPPON KOGAKU KK) 1998年 4月 07日 (1998 - 04 - 07) 全文	1-5
A	CN 101476611 A (北京航空航天大学) 2009年 7月 08日 (2009 - 07 - 08) 全文	1-5
<input type="checkbox"/> 其余文件在C栏的续页中列出。 <input checked="" type="checkbox"/> 见同族专利附件。		
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件		
国际检索实际完成的日期  2014年 9月 02日	国际检索报告邮寄日期  2014年 9月 17日	
ISA/CN的名称和邮寄地址  中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN) 北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 中国  传真号 (86-10)62019451	受权官员  刘巾娜  电话号码 (86-10)62085366	

国际检索报告  
关于同族专利的信息

国际申请号  
PCT/CN2014/080358

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	103438142	A	2013年 12月 11日	无			
CN	1587739	A	2005年 3月 02日	CN	1320290	C	2007年 6月 06日
CN	101364052	A	2009年 2月 11日	CN	101364052	B	2010年 10月 27日
CN	101398636	A	2009年 4月 01日	CN	100573341	C	2009年 12月 23日
CN	102141110	A	2011年 8月 03日	CN	102141110	B	2012年 10月 03日
JP	1089403	A	1998年 4月 07日	US	6036162	A	2000年 3月 14日
				JP	H1089403	A	1998年 4月 07日
CN	101476611	A	2009年 7月 08日	CN	101476611	B	2010年 6月 16日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)