



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103062318 B

(45) 授权公告日 2015. 04. 22

(21) 申请号 201210577110. 5

CN 102470716 A, 2012. 05. 23,

(22) 申请日 2012. 12. 19

审查员 王海燕

(73) 专利权人 哈尔滨工业大学

地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区西大直街 92 号

(72) 发明人 崔俊宁 谭久彬 王雷

(51) Int. Cl.

F16F 15/027(2006. 01)

F16C 32/06(2006. 01)

G03F 7/20(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101398636 A, 2009. 04. 01,

CN 1480787 A, 2004. 03. 10,

CN 101571675 A, 2009. 11. 04,

WO 99/05573 A1, 1999. 02. 04,

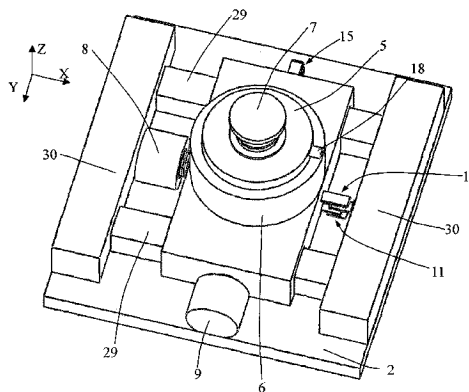
权利要求书2页 说明书6页 附图6页

(54) 发明名称

共面气浮正交解耦与二维柔性铰链角度解耦的零刚度隔振器

(57) 摘要

共面气浮正交解耦与二维柔性铰链角度解耦的零刚度隔振器属于精密隔振技术领域, 隔振器主体的套筒与气浮板、活塞筒与套筒之间分别通过气浮面进行润滑与支撑, 上安装板与下安装板之间的水平直线运动自由度通过共面正交气浮导轨进行解耦, 二者之间的角运动自由度通过二维柔性铰链进行解耦, 音圈电机、位移传感器、限位开关和控制器、驱动器构成位置闭环反馈控制系统, 对上、下安装板的相对位置进行精确控制; 本发明具有三维零刚度、高定位精度、直线运动自由度和角运动自由度解耦的特性, 可有效解决超精密测量仪器与加工装备、尤其是步进扫描光刻机对高性能隔振器的需求。



1. 一种共面气浮正交解耦与二维柔性铰链角度解耦的零刚度隔振器,由上安装板(1)、下安装板(2)、洁净压缩气源(3)、气管(26)和隔振器主体(4)组成,隔振器主体(4)安装在上安装板(1)与下安装板(2)之间,洁净压缩气源(3)通过气管(26)与隔振器主体(4)连接,其特征在于:所述隔振器主体(4)的结构中,套筒(6)的下表面与下安装板(2)通过轴向承载平面气浮面(21)润滑与支撑,活塞筒(5)倒扣安装在套筒(6)内,并与套筒(6)通过径向承载圆柱气浮面(22)润滑与支撑,二维柔性铰链(7)安装在活塞筒(5)和上安装板(1)之间,套筒(6)与X向气浮导轨(29)通过X向导轨气浮面(31)润滑与导向,X向气浮导轨(29)与下安装板(2)通过Z向承载气浮面(33)润滑与支撑,Y向气浮导轨(30)与下安装板(2)刚性连接,X向气浮导轨(29)的两端与Y向气浮导轨(30)通过Y向导轨气浮面(32)润滑与导向;Z向音圈电机(10)、Z向位移传感器(13)与Z向限位开关(16)安装在活塞筒(5)与套筒(6)之间,X向音圈电机(8)、X向位移传感器(11)、X向限位开关(14)与Y向音圈电机(9)、Y向位移传感器(12)、Y向限位开关(15)安装在套筒(6)与下安装板(2)之间,Z向音圈电机(10)的驱动力方向为竖直方向,X向音圈电机(8)与Y向音圈电机(9)的驱动力方向在水平面内且相互垂直,X、Y、Z向位移传感器(11、12、13)和X、Y、Z向限位开关(14、15、16)的作用线方向与X、Y、Z向音圈电机(8、9、10)的驱动力方向一致;X、Y、Z向位移传感器(11、12、13)和X、Y、Z向限位开关(14、15、16)分别与控制器(19)的信号输入端连接,控制器(19)的信号输出端与驱动器(20)的信号输入端连接,驱动器(20)的信号输出端分别与X、Y、Z向音圈电机(8、9、10)连接。

2. 根据权利要求1所述的共面气浮正交解耦与二维柔性铰链角度解耦的零刚度隔振器,其特征在于:所述活塞筒(5)内设有气体压力传感器(17),活塞筒(5)上设有进气口(23)和电磁阀(18),气体压力传感器(17)与控制器(19)的信号输入端连接,控制器(19)的信号输出端与驱动器(20)的信号输入端连接,驱动器(20)的信号输出端与电磁阀(18)连接。

3. 根据权利要求1所述的共面气浮正交解耦与二维柔性铰链角度解耦的零刚度隔振器,其特征在于:所述X、Y、Z向音圈电机(8、9、10)为圆筒型音圈电机或平板型音圈电机。

4. 根据权利要求1所述的共面气浮正交解耦与二维柔性铰链角度解耦的零刚度隔振器,其特征在于:所述X向气浮导轨(29)和Y向气浮导轨(30)为单导轨结构或双导轨结构。

5. 根据权利要求1所述的共面气浮正交解耦与二维柔性铰链角度解耦的零刚度隔振器,其特征在于:所述X、Y、Z向位移传感器(11、12、13)为光栅尺、磁栅尺、容栅尺或直线式电位器。

6. 根据权利要求1所述的共面气浮正交解耦与二维柔性铰链角度解耦的零刚度隔振器,其特征在于:所述X、Y、Z向限位开关(14、15、16)为机械式限位开关、霍尔式限位开关或光电式限位开关。

7. 根据权利要求1所述的共面气浮正交解耦与二维柔性铰链角度解耦的零刚度隔振器,其特征在于:所述活塞筒(5)内气体压力为0.1MPa~0.8MPa。

8. 根据权利要求1所述的共面气浮正交解耦与二维柔性铰链角度解耦的零刚度隔振器,其特征在于:所述轴向承载平面气浮面(21)、径向承载圆柱气浮面(22)、X向导轨气浮面(31)、Y向导轨气浮面(32)和Z向承载气浮面(33)的气膜厚度为10 μ m~20 μ m。

9. 根据权利要求 1 所述的共面气浮正交解耦与二维柔性铰链角度解耦的零刚度隔振器,其特征在于:所述活塞筒(5)上的圆柱气浮面节流孔(25)和套筒(6)上的平面气浮面节流孔(24)的直径为 $\phi 0.1\text{mm} \sim \phi 1\text{mm}$ 。

共面气浮正交解耦与二维柔性铰链角度解耦的零刚度隔振器

技术领域

[0001] 本发明属于精密隔振技术领域, 主要涉及一种共面气浮正交解耦与二维柔性铰链角度解耦的零刚度隔振器。

背景技术

[0002] 随着超精密加工与测量精度的不断提高, 环境振动成为制约超精密加工装备与测量仪器精度和性能提高的重要因素。尤其是步进扫描光刻机为代表的超大规模集成电路加工装备, 技术密集度与复杂度极高, 关键技术指标均达到了现有技术的极限, 代表了超精密加工装备的最高水平, 超精密隔振成为此类装备中的核心关键技术; 步进扫描光刻机的线宽已达到 22nm 及以下, 硅片定位精度与套刻精度均达到几纳米, 而工件台运动速度达到 1m/s 以上, 工件台加速度达到重力加速度的几十倍, 这对现有的隔振技术提出了新的挑战。首先, 光刻机需要为计量系统与光刻物镜提供“超静”的工作环境, 同时还需要驱动工件台以高速度与高加速度运动, 这对隔振系统的隔振性能提出了极其苛刻的要求, 其三个方向的固有频率均需要达到 1Hz 以下; 其次, 光刻机各部件之间的相对位置, 例如光刻物镜与硅片表面的距离, 均具有非常严格的要求, 且处于位置闭环反馈控制系统的控制之下, 要求隔振器上、下安装板之间的相对位置精度达到 10 μm 量级, 传统隔振器的定位精度远远不能满足要求。

[0003] 根据隔振理论, 被动式隔振器的固有频率与刚度成正比、与负载质量成反比, 因此在负载质量一定的前提下, 降低隔振器的刚度是降低固有频率、提高低频与超低频隔振性能的有效途径。传统空气弹簧等形式的隔振器存在静态承载能力与刚度的固有矛盾, 同时受材料特性、结构刚度等因素制约, 要进一步降低其刚度、尤其是水平向刚度十分困难。针对这一问题, 研究人员将“摆”式结构引入到空气弹簧隔振器中, 达到降低隔振器水平刚度的目的 (1. Nikon Corporation. Vibration Isolator With Low Lateral Stiffness. 美国专利公开号: US20040065517A1; 2. U. S. Philips Corporation. Positioning Device with a Force Actuator System for Compensating Center-of-gravity Displacements, and Lithographic Device Provided with Such A Positioning Device. 美国专利号: US005844664A)。该方法能够在一定程度上降低空气弹簧隔振器的水平刚度, 提升其低频隔振性能。该方法存在的问题在于: 1) 受材料特性与结构刚度制约, 隔振器垂向与水平向刚度降低的幅度有限; 2) 空气弹簧隔振器的垂向与水平向定位精度均很差, 无法满足光刻工艺的要求; 3) 要达到较低的水平刚度需要较大的摆长, 导致隔振器高度过大, 容易发生弦膜共振, 稳定性差。

[0004] 通过对现有空气弹簧隔振器技术方案的分析可见, 现有空气弹簧隔振器难以满足光刻机对超低刚度与高定位精度的要求。德国 IDE 公司提出了一种摒弃传统橡胶空气弹簧的隔振器技术方案 (1. Integrated Dynamics Engineering GmbH. Isolatorgeometrie Eines Schwingungsisolationsystem. 欧洲专利号: EP1803965A2; 2. Integrated

Dynamics Engineering GmbH. Schwingungsisolationsystem Mit Pneumatischem Tiefpassfilter. 欧洲专利号 :EP1803970A2 ;3. Integrated Dynamics Engineering GmbH. Air Bearing with Consideration of High-Frequency Resonances. 美国专利公开号 :US20080193061A1)。该方案采用垂向与水平向气浮面对各方向的振动进行解耦与隔振,可以达到极低的刚度与固有频率。该方案存在的问题在于 :1) 已公开技术方案中,隔振器无法实现精确定位 ;2) 专利 EP1803965A2 中,上、下安装板之间不存在绕水平轴旋转的角运动自由度,该方向的角刚度与固有频率都很高 ;专利 EP1803970A2 与 US20080193061A1 采用橡胶块为上、下安装板提供绕水平轴旋转的角运动自由度,但由于橡胶块角刚度很大,无法有效地进行角运动自由度解耦,角运动自由度解耦机构部件之间存在摩擦力而引入附加刚度,制约隔振性能。

[0005] 荷兰 ASML 公司也提出了类似的隔振器技术方案 (1. U.S. Philips Corp, ASM Lithography B. V. Pneumatic Support Device with A Controlled Gas Supply, and Lithographic Device Provided with Such A Support Device. 美国专利号 :US006144442A ;2. Koninklijke Philips Electronics N. V., ASM Lithography B. V. Lithographic Pneumatic Support Device with Controlled Gas Supply. 国际专利公开号 :W099/22272 ;3. ASML Netherlands B. V. Support Device, Lithographic Apparatus, and Device Manufacturing Method Employing A Supporting Device, and A Position Control System Arranged for Use in A Supporting Device. 美国专利号 :US007084956B2 ;4. ASML Netherlands B. V. Support Device, Lithographic Apparatus, and Device Manufacturing Method Employing A Supporting Device and A Position Control System Arranged for Use in A Supporting Device. 欧洲专利号 :EP1486825A1)。专利 US006144442A 与 W099/22272 中对气源压力进行闭环反馈控制,达到提高隔振器的稳定性与性能的目的 ;专利 US007084956B2 与 EP1486825A1 中在上安装板上设有振动传感器,同时引入参考振动系统,通过控制算法提升隔振器的隔振性能。但所提出技术方案仍然没有解决隔振器的精确定位与上、下安装板的角运动自由度解耦问题。

发明内容

[0006] 本发明的目的是针对超精密测量仪器与加工装备、尤其是步进扫描光刻机等超大规模集成电路加工装备对隔振器低固有频率、高定位精度的迫切要求,提供一种共面气浮正交解耦与二维柔性铰链角度解耦的零刚度隔振器,隔振器在三维均具有近似零刚度与极低的固有频率,上、下安装板之间能够进行精确定位与三维直线运动自由度、角运动自由度解耦,从而有效解决超精密测量仪器与加工装备、尤其是步进扫描光刻机中的精密隔振问题。

[0007] 本发明的技术解决方案是 :

[0008] 一种共面气浮正交解耦与二维柔性铰链角度解耦的零刚度隔振器,由上安装板、下安装板、洁净压缩气源、气管和隔振器主体组成,隔振器主体安装在上安装板与下安装板之间,洁净压缩气源通过气管与隔振器主体连接,所述隔振器主体的结构中,套筒的下表面与下安装板通过轴向承载平面气浮面润滑与支撑,活塞筒倒扣安装在套筒内,并与套筒通过径向承载圆柱气浮面润滑与支撑,二维柔性铰链安装在活塞筒和上安装板之间,套筒与 X

向气浮导轨通过 X 向导轨气浮面润滑与导向, X 向气浮导轨与下安装板通过 Z 向承载气浮面润滑与支撑, Y 向气浮导轨与下安装板刚性连接, X 向气浮导轨的两端与 Y 向气浮导轨通过 Y 向导轨气浮面润滑与导向; Z 向音圈电机、Z 向位移传感器与 Z 向限位开关安装在活塞筒与套筒之间, X 向音圈电机、X 向位移传感器、X 向限位开关与 Y 向音圈电机、Y 向位移传感器、Y 向限位开关安装在套筒与下安装板之间, Z 向音圈电机的驱动力方向为竖直方向, X 向音圈电机与 Y 向音圈电机的驱动力方向在水平面内且相互垂直, X、Y、Z 向位移传感器和 X、Y、Z 向限位开关的作用线方向与 X、Y、Z 向音圈电机的驱动力方向一致; X、Y、Z 向位移传感器和 X、Y、Z 向限位开关分别与控制器的信号输入端连接, 控制器的信号输出端与驱动器的信号输入端连接, 驱动器的信号输出端分别与 X、Y、Z 向音圈电机连接。

[0009] 所述活塞筒内设有气体压力传感器, 活塞筒上设有进气口和电磁阀, 气体压力传感器与控制器的信号输入端连接, 控制器的信号输出端与驱动器的信号输入端连接, 驱动器的信号输出端与电磁阀连接。

[0010] 所述 X、Y、Z 向音圈电机为圆筒型音圈电机或平板型音圈电机。

[0011] 所述 X 向气浮导轨和 Y 向气浮导轨为单导轨结构或双导轨结构。

[0012] 所述 X、Y、Z 向位移传感器为光栅尺、磁栅尺、容栅尺或直线式电位器。

[0013] 所述 X、Y、Z 向限位开关为机械式限位开关、霍尔式限位开关或光电式限位开关。

[0014] 所述活塞筒内气体压力为 0.1MPa ~ 0.8MPa。

[0015] 所述轴向承载平面气浮面、径向承载圆柱气浮面、X 向导轨气浮面、Y 向导轨气浮面和 Z 向承载气浮面的气膜厚度为 10 μm ~ 20 μm。

[0016] 所述活塞筒上的圆柱气浮面节流孔和套筒 6 上的平面气浮面节流孔 24 的直径为 $\phi 0.1\text{mm} \sim \phi 1\text{mm}$ 。

[0017] 本发明的技术创新性及产生的良好效果在于:

[0018] (1) 本发明摒弃了传统基于弹性元件 / 机构的隔振器技术方案, 采用轴向承载平面气浮面、径向承载圆柱气浮面分别对水平向与垂向振动进行解耦与隔振, 气浮面无摩擦, 刚度近似为零, 可使隔振器获得近似的零刚度特性和突出的超低频隔振性能, 解决了现有技术受结构刚度、材料特性限制, 刚度难以进一步降低, 刚度与稳定性不能兼顾的问题。这是本发明区别于现有技术的创新点之一。

[0019] (2) 本发明采用位移传感器、限位开关、控制器、驱动器与音圈电机等构成竖直方向与水平方向的位置闭环反馈控制系统, 对上、下安装板之间的相对位置进行精确控制, 定位精度可达到 10 μm 级及以上, 可有效解决现有技术定位精度低、定位精度与刚度、隔振性能不能兼顾的问题。这是本发明区别于现有技术的创新点之二。

[0020] (3) 本发明采用共面正交气浮导轨和二维柔性铰链对隔振器上、下安装板之间的直线运动自由度和角运动自由度进行解耦, 气浮导轨与柔性铰链无摩擦、无磨损, 引入附加刚度可以忽略, 可有效解决现有技术采用弹性体解耦的技术方案存在摩擦与磨损、引入附加刚度等问题。这是本发明区别于现有技术的创新点之三。

[0021] (4) 本发明采用气体压力传感器、电磁阀与控制器、驱动器等构成压力闭环反馈控制系统, 精确控制套筒内的气体压力使之保持恒定, 对隔振器的轴向载荷进行重力平衡与补偿, 在径向承载圆柱气浮面的作用下, 承载负载重力的活塞筒可沿套筒以零刚度自由上下滑动, 从而实现理想的重力平衡与零刚度隔振效果。这是本发明区别于现有技术的创新

点之四。

[0022] (5) 本发明采用主动执行器对上、下安装板之间的相对位置进行主动控制,隔振器参数可根据被隔振对象特点与工作环境变化实时调节,从而适应不同的工况,具有较好的灵活性、适应性与稳定性。这是本发明区别于现有技术的创新点之五。

附图说明

[0023] 图 1 为拆除上安装板后的共面气浮正交解耦与二维柔性铰链角度解耦的零刚度隔振器的结构示意图;

[0024] 图 2 为共面气浮正交解耦与二维柔性铰链角度解耦的零刚度隔振器的剖面结构示意图;

[0025] 图 3 为轴向承载平面气浮面、径向承载圆柱气浮面、X 向导轨气浮面和 Z 向承载气浮面的示意图;

[0026] 图 4 为 Y 向导轨气浮面的示意图;

[0027] 图 5 为套筒结构示意图;

[0028] 图 6 为两个一维柔性铰链正交叠加构成一个二维柔性铰链的结构示意图;

[0029] 图 7 为圆柱形二维柔性铰链的结构示意图;

[0030] 图 8 为共面气浮正交解耦与二维柔性铰链角度解耦的零刚度隔振器的控制结构框图;

[0031] 图 9 为套筒上平面气浮面节流孔的示意图;

[0032] 图 10 为活塞筒上圆柱气浮面节流孔的示意图。

[0033] 图中件号说明:1 上安装板、2 下安装板、3 洁净压缩气源、4 隔振器主体、5 活塞筒、6 套筒、7 二维柔性铰链、8X 向音圈电机、8a X 向电机铁轭、8b X 向电机磁钢、8c X 向电机线圈骨架、8d X 向电机线圈、9Y 向音圈电机、10Z 向音圈电机、10a Z 向电机铁轭、10b Z 向电机磁钢、10c Z 向电机线圈骨架、10d Z 向电机线圈、10e Z 向电机过渡件、11X 向位移传感器、11a X 向光栅读数头过渡件、11b X 向光栅读数头、11c X 向玻璃光栅尺、12Y 向位移传感器、13Z 向位移传感器、13a Z 向光栅读数头过渡件、13b Z 向光栅读数头、13c Z 向玻璃光栅尺、14X 向限位开关、14a X 向限位块、14b X 向霍尔开关、14c X 向限位开关过渡件、14d X 向限位块过渡件、15Y 向限位开关、16Z 向限位开关、16a Z 向限位块、16b Z 向霍尔开关、16c Z 向限位开关过渡件、17 气体压力传感器、18 电磁阀、19 控制器、20 驱动器、21 轴向承载平面气浮面、22 径向承载圆柱气浮面、23 进气口、24 平面气浮面节流孔、25 圆柱气浮面节流孔、26 气管、29X 向气浮导轨、30Y 向气浮导轨、31X 向导轨气浮面、32Y 向导轨气浮面、33Z 向承载气浮面、34 圆柱形二维柔性铰链。

具体实施方式

[0034] 下面结合附图给出本发明的具体实施例。

[0035] 一种共面气浮正交解耦与二维柔性铰链角度解耦的零刚度隔振器,由上安装板 1、下安装板 2、洁净压缩气源 3、气管 26 和隔振器主体 4 组成,隔振器主体 4 安装在上安装板 1 与下安装板 2 之间,洁净压缩气源 3 通过气管 26 与隔振器主体 4 连接,所述隔振器主体 4 的结构中,套筒 6 的下表面与下安装板 2 通过轴向承载平面气浮面 21 润滑与支撑,活塞筒

5 倒扣安装在套筒 6 内,并与套筒 6 通过径向承载圆柱气浮面 22 润滑与支撑,二维柔性铰链 7 安装在活塞筒 5 和上安装板 1 之间,套筒 6 与 X 向气浮导轨 29 通过 X 向导轨气浮面 31 润滑与导向,X 向气浮导轨 29 与下安装板 2 通过 Z 向承载气浮面 33 润滑与支撑,Y 向气浮导轨 30 与下安装板 2 刚性连接,X 向气浮导轨 29 的两端与 Y 向气浮导轨 30 通过 Y 向导轨气浮面 32 润滑与导向;Z 向音圈电机 10、Z 向位移传感器 13 与 Z 向限位开关 16 安装在活塞筒 5 与套筒 6 之间,X 向音圈电机 8、X 向位移传感器 11、X 向限位开关 14 与 Y 向音圈电机 9、Y 向位移传感器 12、Y 向限位开关 15 安装在套筒 6 与下安装板 2 之间,Z 向音圈电机 10 的驱动力方向为竖直方向,X 向音圈电机 8 与 Y 向音圈电机 9 的驱动力方向在水平面内且相互垂直,X、Y、Z 向位移传感器 11、12、13 和 X、Y、Z 向限位开关 14、15、16 的作用线方向与 X、Y、Z 向音圈电机 8、9、10 的驱动力方向一致;X、Y、Z 向位移传感器 11、12、13 和 X、Y、Z 向限位开关 14、15、16 分别与控制器 19 的信号输入端连接,控制器 19 的信号输出端与驱动器 20 的信号输入端连接,驱动器 20 的信号输出端分别与 X、Y、Z 向音圈电机 8、9、10 连接。

[0036] X、Y、Z 向位移传感器 11、12、13 对 X、Y、Z 向音圈电机 8、9、10 输出的位移进行测量,X、Y、Z 向限位开关 14、15、16 对 X、Y、Z 向音圈电机 8、9、10 运动的行程进行限制;控制器 19 根据 X、Y、Z 向位移传感器 11、12、13 和 X、Y、Z 向限位开关 14、15、16 的反馈信号,控制 X、Y、Z 向音圈电机 8、9、10 对上、下安装板 1、2 之间的相对位置进行精确控制。

[0037] 所述活塞筒 5 内设有气体压力传感器 17,活塞筒 5 上设有进气口 23 和电磁阀 18,气体压力传感器 17 与控制器 19 的信号输入端连接,控制器 19 的信号输出端与驱动器 20 的信号输入端连接,驱动器 20 的信号输出端与电磁阀 18 连接。

[0038] 所述 X、Y、Z 向音圈电机 8、9、10 为圆筒型音圈电机或平板型音圈电机。

[0039] 所述 X 向气浮导轨 29 和 Y 向气浮导轨 30 为单导轨结构或双导轨结构。

[0040] 所述 X、Y、Z 向位移传感器 11、12、13 为光栅尺、磁栅尺、容栅尺或直线式电位器。

[0041] 所述 X、Y、Z 向限位开关 14、15、16 为机械式限位开关、霍尔式限位开关或光电式限位开关。

[0042] 所述活塞筒 5 内气体压力为 0.1MPa ~ 0.8MPa。

[0043] 所述轴向承载平面气浮面 21、径向承载圆柱气浮面 22、X 向导轨气浮面 31、Y 向导轨气浮面 32 和 Z 向承载气浮面 33 的气膜厚度为 10 μm ~ 20 μm 。

[0044] 所述活塞筒 5 上的圆柱气浮面节流孔 25 和套筒 6 上的平面气浮面节流孔 24 的直径为 $\phi 0.1\text{mm}$ ~ $\phi 1\text{mm}$ 。

[0045] 下面结合图 1 ~ 图 5、图 8 给出本发明的一个实施例。本实施例中,隔振器工作时下安装板 2 与地基、仪器的基座或基础框架等刚性连接,上安装板 1 与负载或平台刚性连接。X、Y、Z 向音圈电机 8、9、10 均采用圆筒型音圈电机。以 X 向音圈电机 8 为例,其主要由 X 向电机铁轭 8a、X 向电机磁钢 8b、X 向电机线圈骨架 8c、X 向电机线圈 8d 组成。X 向电机铁轭 8a 和 X 向电机线圈骨架 8c 为圆筒形,X 向电机磁钢 8b 为圆柱形,X 向电机线圈 8d 绕于 X 向电机线圈骨架 8c 上。X 向电机铁轭 8a 和 X 向电机磁钢 8b 构成电机定子,X 向电机线圈骨架 8c 和 X 向电机线圈 8d 构成电机动子。Z 向音圈电机 10 中,Z 向电机过渡件 10e 提供 Z 向电机线圈骨架 10c 的安装结构。电机工作时线圈中通以电流,根据电磁理论,通电线圈在磁场中会受到洛伦兹力作用,通过控制电流的大小和方向可以控制电机输出驱动力的大小和方向。

[0046] X、Y、Z 向位移传感器 11、12、13 采用光栅尺。以 Z 向位移传感器 13 为例,其主要包括 Z 向光栅读数头过渡件 13a、Z 向光栅读数头 13b 和 Z 向玻璃光栅尺 13c 等部件。Z 向光栅读数头过渡件 13a 提供 Z 向光栅读数头 13b 的安装结构。光栅尺工作时,Z 向光栅读数头 13b 能够将其与 Z 向玻璃光栅尺 13c 的相对位移检测出来,并通过信号导线送给控制器 19。

[0047] X、Y、Z 向限位开关 14、15、16 采用霍尔式限位开关。以 Z 向限位开关 16 为例,其主要包括 Z 向限位块 16a、Z 向霍尔开关 16b 和 Z 向限位开关过渡件 16c 等部件。两个 Z 向霍尔开关 16b 背靠背安装,两个 Z 向限位块 16a 为金属材料,与 Z 向霍尔开关 16b 的敏感端相对安装。Z 向限位开关过渡件 16c 提供 Z 向霍尔开关 16b 的安装结构。限位开关工作时,当 Z 向霍尔开关 16b 接近 Z 向限位块 16a 时,Z 向霍尔开关 16b 给出限位信号,并通过信号导线送给控制器 19。

[0048] 本实施例中,Z 向音圈电机 10、Z 向位移传感器 13 和 Z 向限位开关 16 均安装在活塞筒 5 和套筒 6 之间,且安装在活塞筒 5 内部。

[0049] 隔振器对负载的承载采用如下方式实现:洁净压缩气源 3 通过气管 26、经电磁阀 18、进气口 23 向活塞筒 5 内输送洁净压缩空气。控制器 19 根据气体压力传感器 17 的反馈信号,控制电磁阀 18 的开度,调节输入到活塞筒 5 内的气体流量,从而调节活塞筒 5 内洁净压缩空气的压力,使洁净压缩空气对活塞筒 5 向上的作用力与负载、活塞筒 5 及加载于活塞筒 5 上的其它零部件的重力相平衡,实现理想的重力补偿与零刚度隔振效果。

[0050] 本实施例中,活塞筒 5 内洁净压缩空气的压力为 0.4MPa,活塞筒 5 下表面的有效半径为 100mm,则单个隔振器承载的质量为: $m = p \times \pi r^2 / g \approx 1282\text{kg}$,其中 p 为气体压力, $p = 0.4\text{MPa}$,r 为活塞筒 5 下表面的有效半径, $r = 100\text{mm}$,g 为重力加速度, $g = 9.8\text{m/s}^2$ 。

[0051] 图 6 给出二维柔性铰链的一个实施例。本实施例中,二维柔性铰链 7 为两个一维柔性铰链正交叠加构成。

[0052] 图 7 给出二维柔性铰链的另一个实施例。本实施例中,圆柱形二维柔性铰链 34 成圆柱形,加工成中间细、两端粗的形式。

[0053] 图 9 给出套筒上平面气浮面节流孔的一个实施例。本实施例中,套筒 6 下表面围绕圆心沿圆周方向均布 8 个平面气浮面节流孔 24,直径为 $\phi 0.2\text{mm}$ 。

[0054] 图 10 给出活塞筒上圆柱气浮面节流孔的一个实施例。本实施例中,活塞筒 5 侧壁上沿圆周方向均布两排圆柱气浮面节流孔 25,每排圆柱气浮面节流孔 25 的数量为 8 个,直径为 $\phi 0.2\text{mm}$ 。

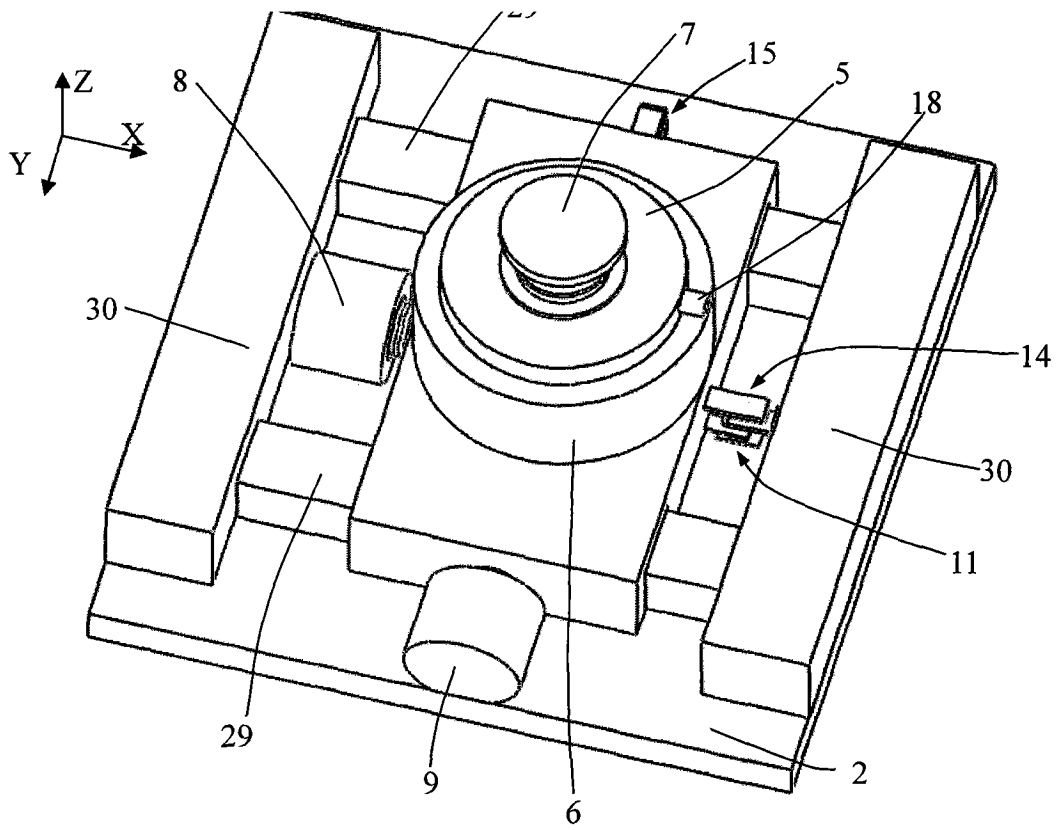


图 1

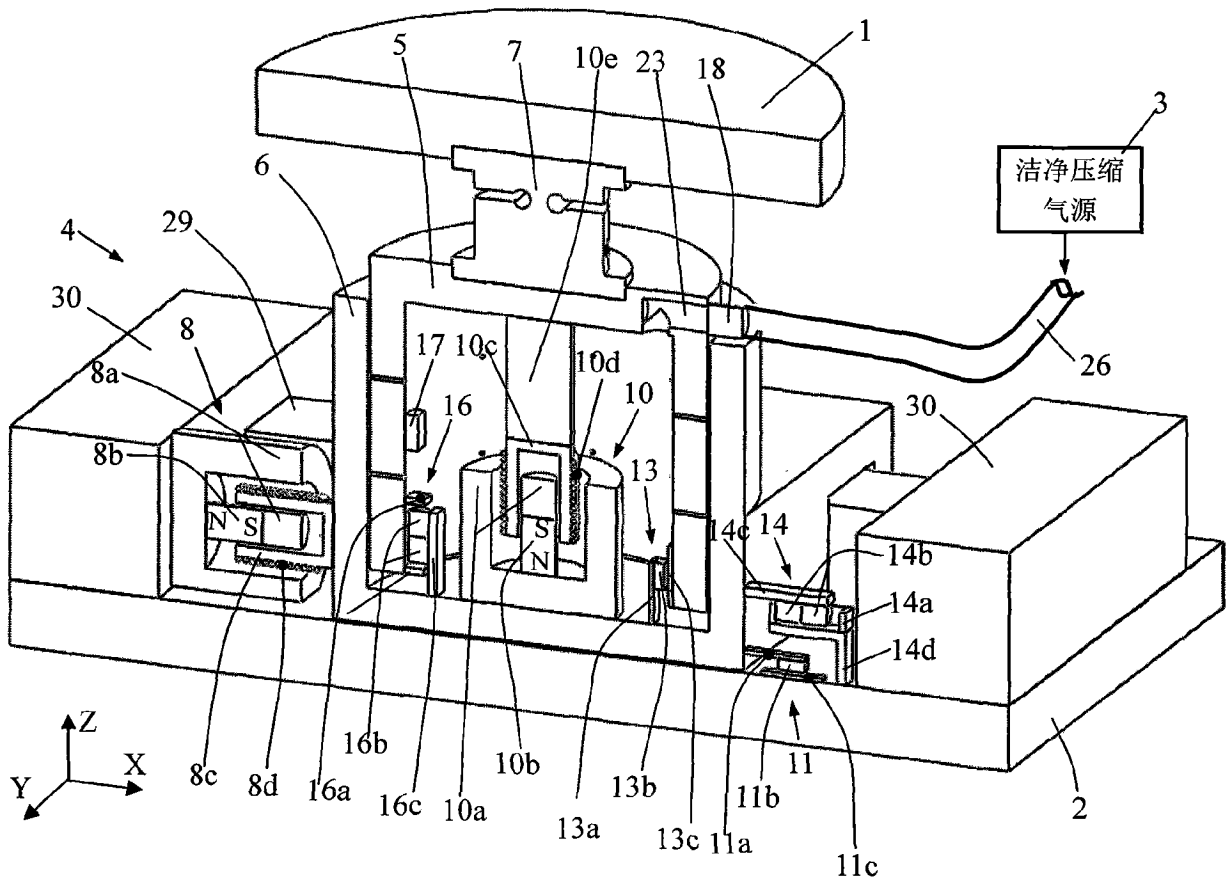


图 2

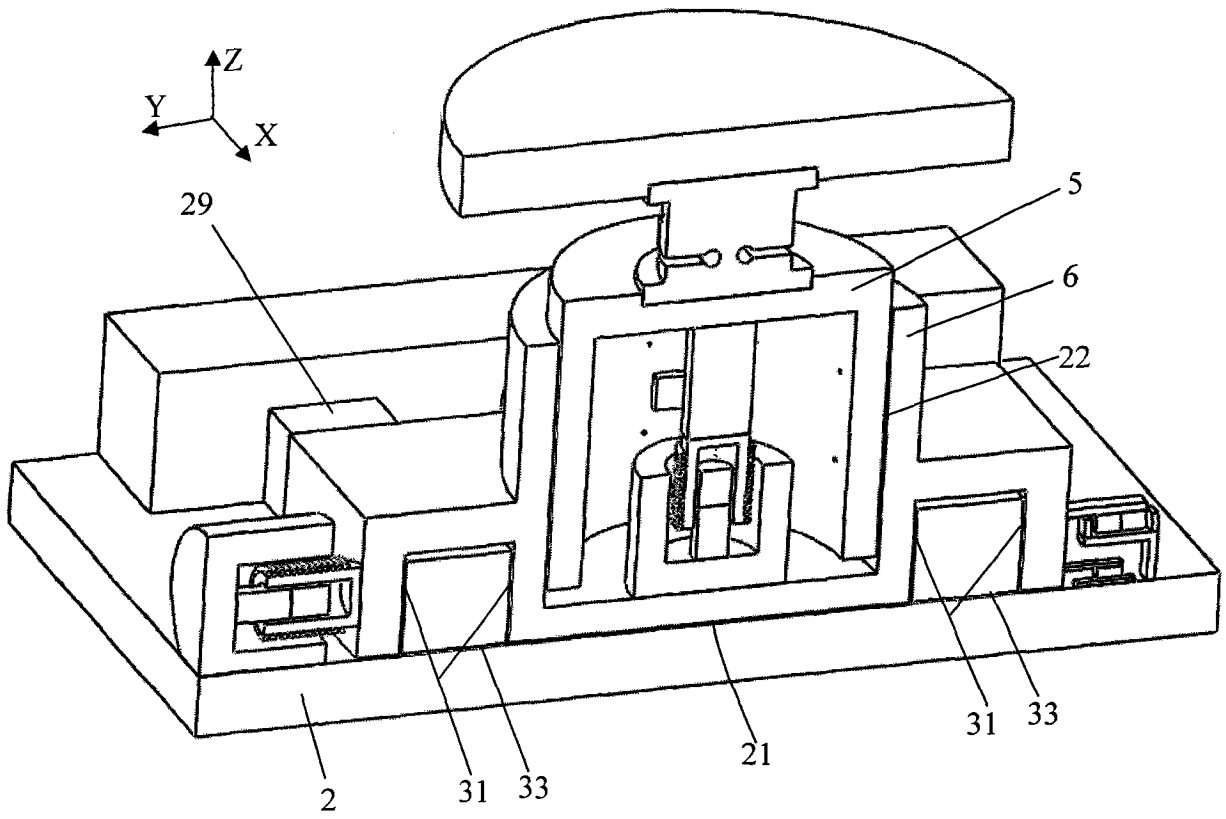


图 3

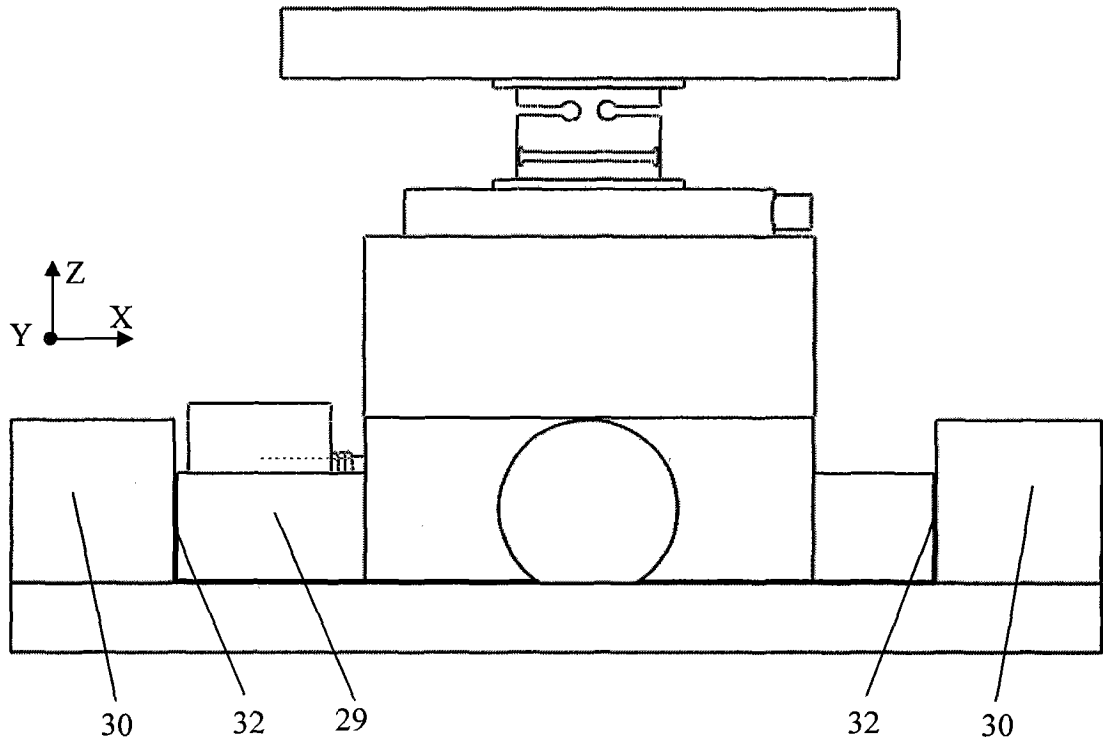


图 4

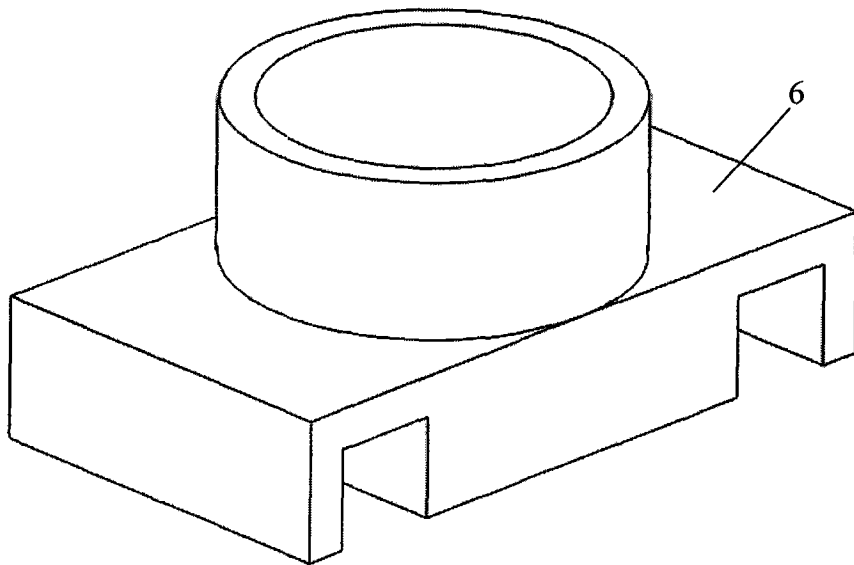


图 5

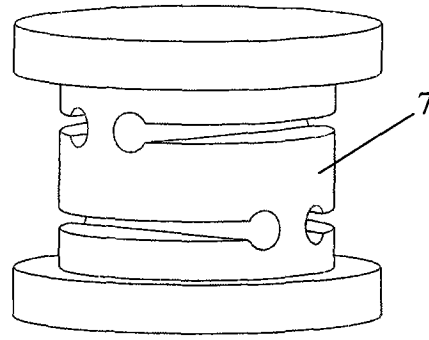


图 6

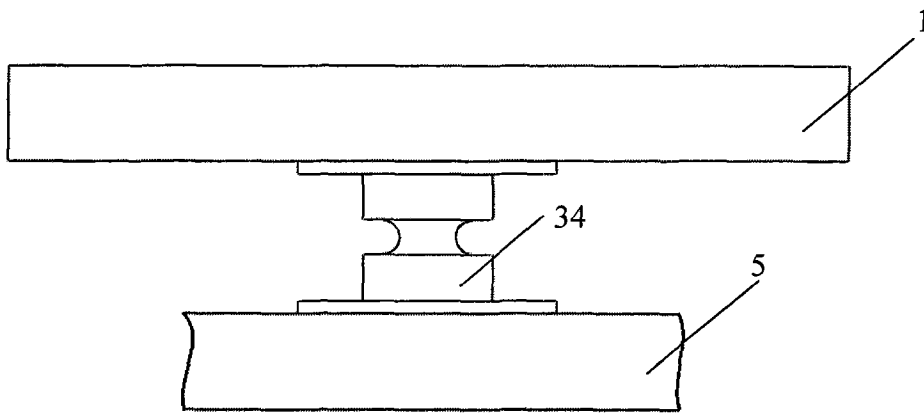


图 7

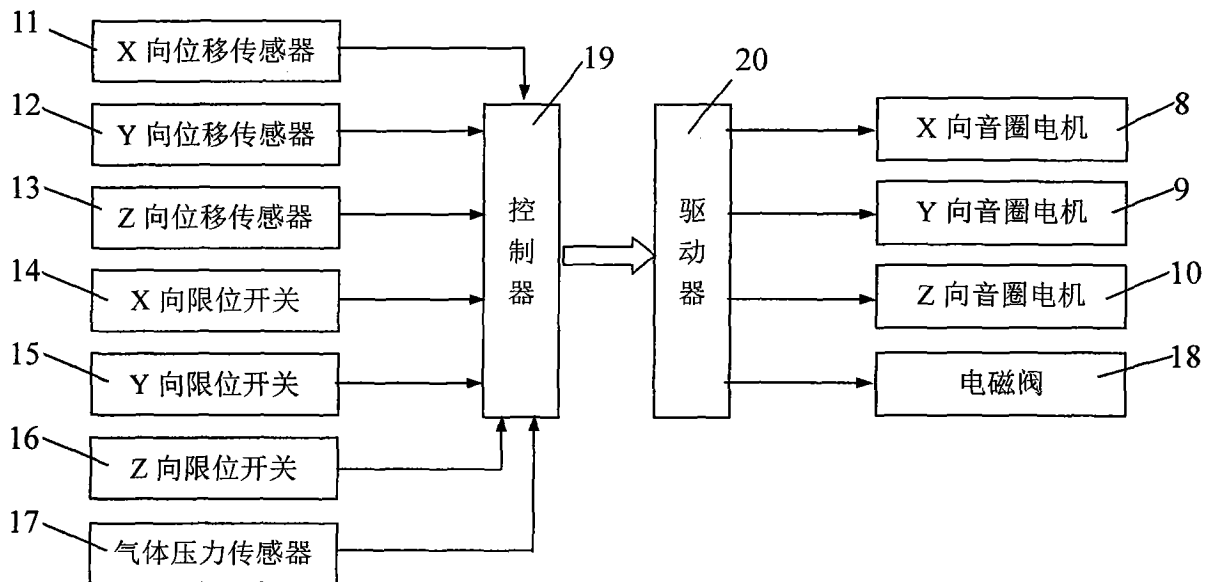


图 8

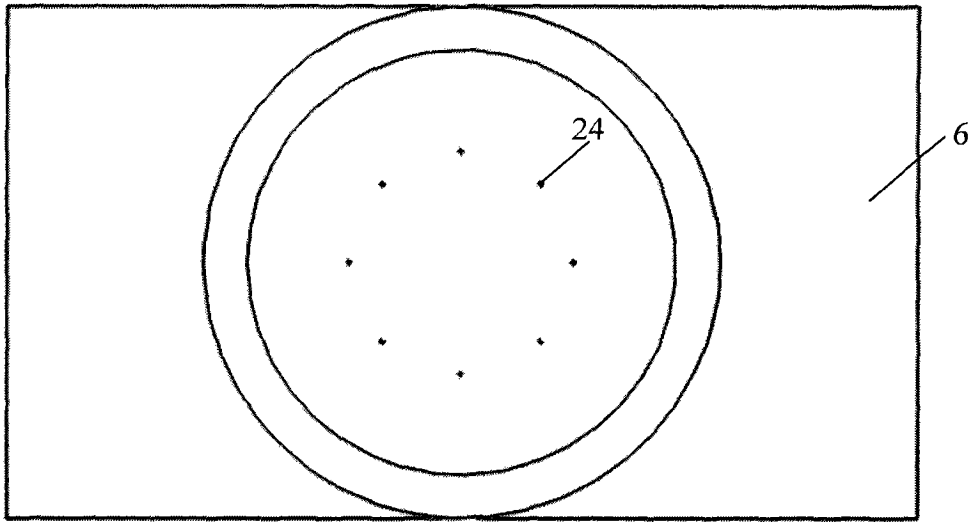


图 9

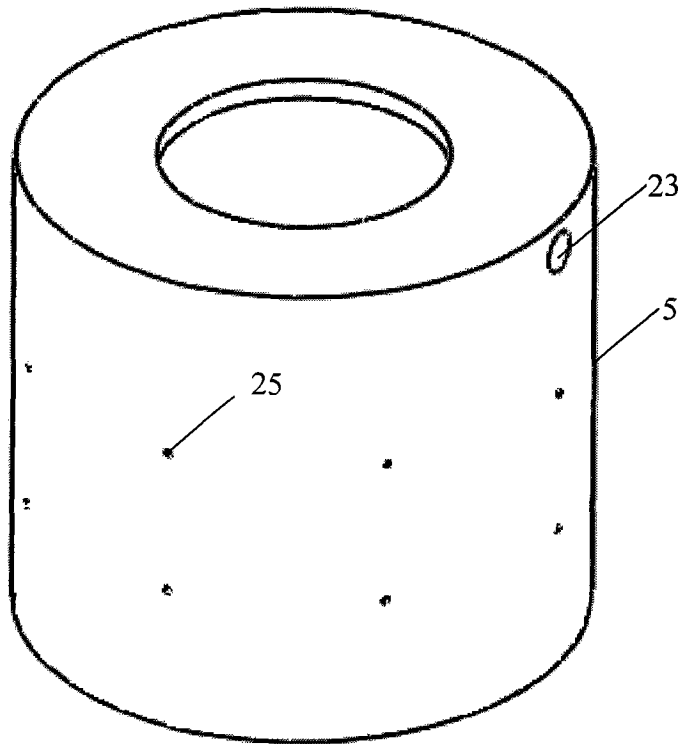


图 10