



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113687435 B

(45) 授权公告日 2023. 08. 04

(21) 申请号 202111020466.4

(22) 申请日 2021.09.01

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113687435 A

(43) 申请公布日 2021.11.23

(73) 专利权人 中国科学院精密测量科学与技术
创新研究院

地址 430077 湖北省武汉市武昌区徐东大
街340号

(72) 发明人 涂海波 孙恒 刘坤 刘孙君
柳林涛

(74) 专利代理机构 武汉宇晨专利事务所(普通
合伙) 42001
专利代理师 李鹏

(51) Int.Cl.

G01V 7/00 (2006.01)

G01P 15/125 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 106918720 A, 2017.07.04

CN 112394197 A, 2021.02.23

CN 104535625 A, 2015.04.22

CN 205301606 U, 2016.06.08

CN 207051509 U, 2018.02.27

审查员 郭清

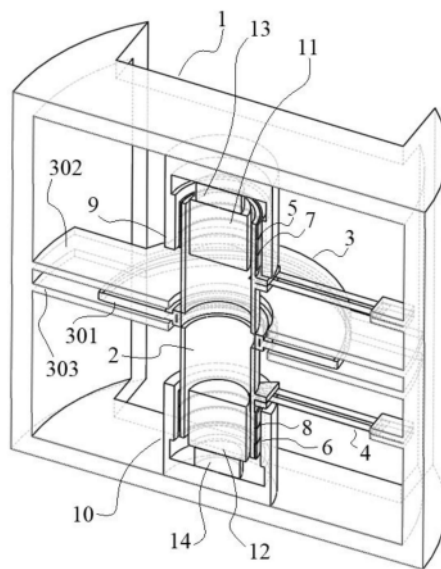
权利要求书1页 说明书6页 附图5页

(54) 发明名称

一种平动式重力/加速度测量敏感结构

(57) 摘要

本发明公开了一种平动式重力/加速度测量敏感结构,包括框架,还包括采样质量筒、变间距式电容位移传感器以及簧片组,采样质量筒与变间距式电容位移传感器连接,两个及以上的簧片组一端与采样质量筒侧壁绝缘连接且另一端与框架内壁绝缘连接。采样质量筒的上端外部和下端外部分别设置有串联的上加速度补偿线圈和下加速度补偿线圈,以及分别设置有串联的上加速度测量线圈和下加速度测量线圈。本发明从原理上消除了采样质量筒的偏转运动模式,实现了采样质量筒在测量过程中的平移运动;提高位移测量精度;增大线圈散热面积,易于装配,显著减小了体积。



1. 一种平动式重力/加速度测量敏感结构,包括框架(1),其特征在于,还包括采样质量筒(2)、变间距式电容位移传感器(3)以及簧片组(4),

采样质量筒(2)的上端延伸至上磁缸(9)内,采样质量筒(2)的下端延伸至下磁缸(10)内,上磁缸(9)与框架(1)的顶部内壁连接,下磁缸(10)与框架(1)的底部内壁连接;采样质量筒(2)的上端内设置有上导磁块(11),采样质量筒(2)的下端内设置有下导磁块(12),上导磁块(11)通过上永磁体(13)与上磁缸(9)内部连接,下导磁块(12)通过下永磁体(14)与下磁缸(10)内部连接;采样质量筒(2)的上端外部和下端外部分别设置有串联的上加速度补偿线圈(7)和下加速度补偿线圈(8),采样质量筒(2)的上端外部和下端外部还分别设置有串联的上加速度测量线圈(5)和下加速度测量线圈(6),

采样质量筒(2)与变间距式电容位移传感器(3)连接,两个及以上的簧片组(4)一端与采样质量筒(2)侧壁绝缘连接且另一端与框架(1)内壁绝缘连接,

上磁缸(9)和下磁缸(10)上下对称分布,上导磁块(11)和下导磁块(12)上下对称分布,上永磁体(13)和下永磁体(14)上下对称分布,上加速度补偿线圈(7)和下加速度补偿线圈(8)上下对称分布,

所述的各个簧片组(4)沿采样质量筒(2)的中心轴线的投影是重合的,每个簧片组包括多片相互平行的独立的簧片条,每个簧片组的各个簧片条位于同一平面,每个簧片组的各个簧片条之间绝缘,每个簧片组的各个簧片条的两端与框架内壁和采样质量筒(2)之间绝缘连接。

2. 根据权利要求1所述的一种平动式重力/加速度测量敏感结构,其特征在于,所述的变间距式电容位移传感器(3)包括电容动片(301)、电容上定片(302)和电容下定片(303),采样质量筒(2)的中部外周绝缘设置电容动片(301),电容动片(301)位于电容上定片(302)和电容下定片(303)之间,电容动片(301)上设置有电容导电层,电容上定片(302)和电容下定片(303)分别与框架(1)绝缘连接,电容动片(301)分别与上加速度补偿线圈(7)、下加速度补偿线圈(8)、上加速度测量线圈(5)和下加速度测量线圈(6)绝缘。

3. 根据权利要求2所述的一种平动式重力/加速度测量敏感结构,其特征在于,所述的电容动片(301)为绝缘套设固定在采样质量筒(2)的中部的环形片,电容上定片(302)和电容下定片(303)均包括环形定片以及定片连接件,环形定片通过定片连接件与框架(1)内壁绝缘连接,采样质量筒(2)依次贯穿电容上定片(302)和电容下定片(303)的环形定片,电容动片(301)、电容上定片(302)和电容下定片(303)均垂直于采样质量筒(2)的中心轴线。

4. 根据权利要求1所述的一种平动式重力/加速度测量敏感结构,其特征在于,所述的串联的上加速度补偿线圈(7)和下加速度补偿线圈(8)两端、串联的上加速度测量线圈(5)和下加速度测量线圈(6)两端、以及电容动片均分别与对应的簧片条连接,并通过簧片条与外部导线连接。

5. 根据权利要求1所述的一种平动式重力/加速度测量敏感结构,其特征在于,还包括串联的上阻尼线圈和下阻尼线圈,上阻尼线圈均位于采样质量筒(2)上端外壁与上磁缸(9)内壁之间的间隙内,下阻尼线圈均位于采样质量筒(2)下端外壁与下磁缸(10)内壁之间的间隙内,上阻尼线圈和下阻尼线圈上下对称分布,上阻尼线圈和下阻尼线圈与变间距式电容位移传感器(3)绝缘,串联的上阻尼线圈和下阻尼线圈两端与簧片组(4)中对应的簧片条连接并通过簧片条与外部导线连接。

一种平动式重力/加速度测量敏感结构

技术领域

[0001] 本发明属于重力/加速度测量技术领域,具体涉及一种平动式重力/加速度测量敏感结构。

背景技术

[0002] 本质上测量重力即是测量(重力)加速度。以船只或飞机为载体的动基座重力测量是获取地表高精度重力数据的重要手段之一,其结果在大地测量、资源勘探等领域有重要应用(Lacoste L.J.B.,Reviews of geophysics,1967(5),477;Forsberg R.et al.,2015(6),265;Hu et al.,Navigation Positioning&Timing,2017(4),10)。动基座重力测量是测量精度和测量效率的良好平衡-便携式重力仪精度高但测量效率低,而卫星重力测量效率高但在重力短波长部分的精度低(Crossley D.et al.,Reports on progress in physics,2013(76),046101;Jiang T.and Wang Y.M.,J.of Geodesy,2016(90),1)。当前,国内外多种型号的动基座重力仪正得到不断发展,设计仪器精度达到毫伽量级甚至更高(Zhang Z.B.et al.,Marine sciences,2015(39),85;Studinger M.et al.,Geophysics,2008(73),151;Cai S.K.et al.,Science China:Earth Sciences,2013(56),2198)。

[0003] 工程上实现更高精度动基座重力测量十分困难,原因是载体的扰动加速度可以比需要测量的重力异常加速度大百万倍,而且二者相互叠加难以区分。随着全球定位系统的发展,通过GNSS独立解算载体的扰动加速度至毫伽量级已成为可能,因此有望将该扰动加速度从重力测量数据中予以扣除,这对于航空重力测量尤为重要(Kennedy S.L.et al.,International Association of Geodesy Symposia,2002(125),211;Bruton A.M.et al.,GPS solutions,2002(5),1)。一般而言,动基座重力仪根据平台的不同可分为两类-捷联式重力仪和陀螺平台式重力仪;而重力敏感探头的构建形式则多种多样,例如在Chekan、ZLS、GT和KSS中分别用高精度石英摆式加速度计、精密摆体、精密弹簧结构等(Zhang X.Y.et al.,Hydrographic Surveying and Charting,2012(25),71)。

[0004] 在众多重力测量的敏感探头中,石英摆式加速度计因其小巧而在多种型号重力仪中得到运用,该探头来自于高精度惯性导航系统的成熟技术,用于重力测量时存在较大的非线性效应;以ZLS为代表的具有机械放大能力的斜拉式精密摆体探头,灵敏度极高,该技术来源于L&R公司的静态重力仪,然而在动态测量中的非线性效应明显且难以修正(Yuan Y.et al.,Earth,planets and space,2020,72);以KSS和GT为代表的精密弹性重力测量结构是目前商业化应用中被证实精度较好的一类探头,其缺点是体积和重量较大,价格高,弹性结构需要用多重拉丝和弹簧进行约束,装配过程和工艺复杂。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于针对现有技术存在的缺陷,提供一种新型的平动式重力测量敏感结构。

[0006] 为了实现上述的目的,本发明采用以下技术措施:

[0007] 一种平动式重力/加速度测量敏感结构,包括框架,还包括采样质量筒、变间距式电容位移传感器以及簧片组,

[0008] 采样质量筒的上端延伸至上磁缸内,采样质量筒的下端延伸至下磁缸内,上磁缸与框架的顶部内壁连接,下磁缸与框架的底部内壁连接;采样质量筒的上端内设置有上导磁块,采样质量筒的下端内设置有下导磁块,上导磁块通过上永磁体与上磁缸内部连接,下导磁块通过下永磁体与下磁缸内部连接;采样质量筒的上端外部和下端外部分别设置有串联的上加速度补偿线圈和下加速度补偿线圈,采样质量筒的上端外部和下端外部还分别设置有串联的上加速度测量线圈和下加速度测量线圈,

[0009] 采样质量筒与变间距式电容位移传感器连接,两个及以上的簧片组一端与采样质量筒侧壁绝缘连接且另一端与框架内壁绝缘连接,

[0010] 上磁缸和下磁缸上下对称分布,上导磁块和下导磁块上下对称分布,上永磁体和下永磁体上下对称分布,上加速度补偿线圈和下加速度补偿线圈上下对称分布。

[0011] 如上所述的变间距式电容位移传感器包括电容动片、电容上定片和电容下定片,采样质量筒的中部外周绝缘设置电容动片,电容动片位于电容上定片和电容下定片之间,电容动片上设置有电容导电层,电容上定片和电容下定片分别与框架绝缘连接,电容动片分别与上加速度补偿线圈、下加速度补偿线圈、上加速度测量线圈和下加速度测量线圈绝缘。

[0012] 如上所述的电容动片为绝缘套设固定在采样质量筒的中部的环形片,电容上定片和电容下定片均包括环形定片以及定片连接件,环形定片通过定片连接件与框架内壁绝缘连接,采样质量筒依次贯穿电容上定片和电容下定片的环形定片,电容动片、电容上定片和电容下定片均垂直于采样质量筒的中心轴线。

[0013] 如上所述的各个簧片组沿采样质量筒的中心轴线的投影是重合的。每个簧片组包括多片相互平行的独立的簧片条,每个簧片组的各个簧片条位于同一平面,每个簧片组的各个簧片条之间绝缘,每个簧片组的各个簧片条的两端与框架内壁和采样质量筒之间绝缘连接。

[0014] 如上所述的串联的上加速度补偿线圈和下加速度补偿线圈两端、串联的上加速度测量线圈和下加速度测量线圈两端、以及电容动片均分别与对应的簧片条连接,并通过簧片条与外部导线连接。

[0015] 如上所述的上加速度测量线圈和下加速度测量线圈分别由上阻尼线圈和下阻尼线圈替代。

[0016] 一种平动式重力/加速度测量敏感结构,还包括串联的上阻尼线圈和下阻尼线圈,上阻尼线圈均位于采样质量筒上端外壁与上磁缸内壁之间的间隙内,下阻尼线圈均位于采样质量筒下端外壁与下磁缸内壁之间的间隙内,上阻尼线圈和下阻尼线圈上下对称分布,上阻尼线圈和下阻尼线圈与变间距式电容位移传感器绝缘,串联的上阻尼线圈和下阻尼线圈两端与簧片组中对应的簧片条连接并通过簧片条与外部导线连接。

[0017] 本发明相比于现有技术具有以下有益效果:

[0018] (1) 不同于石英摆式加速度计摆片在测量过程中的弧线运动,会引起测量的非线性;本发明采用簧片组的采样质量约束方式,消除了采样质量筒的偏转运动模式,实现了采样质量筒在测量过程中的平移运动。(2) 由于是平移运动,可增大电容位移传感面积,提高

位移测量精度。(3)将线圈分组布设,分为上下加速度补偿线圈、上下加速度测量线圈(集成上下阻尼线圈功能),或者分为上下加速度补偿线圈、上下加速度测量线圈和上下阻尼线圈,提高了测量精度。将线圈分布在长圆柱的采样质量筒上,增大散热面积,减小了局部温升。去掉了GT和ZLS型重力仪的重力平衡弹簧,消除了因主弹簧结构蠕变和突跳引起的漂移和仪器掉格误差。(4)与KSS型重力仪等复杂拉丝结构的探头相比,易于装配,显著减小了探头体积与质量。(5)簧片组同时兼作导线,减小了导线对测量的附加影响。

附图说明

- [0019] 图1为本发明第一视角立体结构示意图;
- [0020] 图2为簧片组连接示意图;
- [0021] 图3为簧片组约束下的采样质量筒运动和簧片条形变示意图;
- [0022] 图4为下磁缸和下导磁块的设置示意图;
- [0023] 图5为采样质量上线圈的分布及其导线连接方式框图;其中黑线表示加速度补偿回路,灰线表示加速度测量回路;
- [0024] 图6为本发明的正视结构示意图;
- [0025] 图7为本发明的正视剖面结构示意图;
- [0026] 图8为本发明的第二视角立体结构示意图。
- [0027] 图中:1-框架;2-采样质量筒;3-变间距式电容位移传感器;4-簧片组;5-上加速度测量线圈;6-下加速度测量线圈;7-上加速度补偿线圈;8-下加速度补偿线圈;9-上磁缸;10-下磁缸;11-上导磁块;12-下导磁块;13-上永磁体;14-下永磁体;
- [0028] 301-电容动片;302-电容上定片;303-电容下定片。

具体实施方式

[0029] 为了便于本领域普通技术人员理解和实施本发明,下面结合实施例对本发明作进一步的详细描述,应当理解,此处所描述的实施例仅用于说明和解释本发明,并不用于限定本发明。

[0030] 一种平动式重力/加速度测量敏感结构,包括框架1、采样质量筒2、变间距式电容位移传感器3、以及簧片组4,

[0031] 框架1:与重力/加速度测量平台的框架固连。框架1可以是中空的长方体、中空的圆柱体等结构类型。上下永磁体、上下磁缸、上下导磁块均与框架固连。

[0032] 采样质量筒2:呈圆筒状,采样质量筒2的上端延伸至上磁缸9内,采样质量筒2的下端延伸至下磁缸10内,上磁缸9与框架1的顶部内壁连接,下磁缸10与框架1的底部内壁连接;采样质量筒2的上端内设置有上导磁块11,采样质量筒2的下端内设置有下导磁块12,上导磁块11通过上永磁体13与上磁缸9内部连接,下导磁块12通过下永磁体14与下磁缸10内部连接;采样质量筒2的上端外部和下端外部分别设置有上加速度补偿线圈7和下加速度补偿线圈8,采样质量筒2的上端外部和下端外部分别设置有上加速度测量线圈5和下加速度测量线圈6。上加速度补偿线圈7和下加速度补偿线圈8串联,上加速度测量线圈5和下加速度测量线圈6串联。

[0033] 作为另一种实施方案,上述上加速度测量线圈5集成上阻尼线圈的功能,下加速度

测量线圈6集成下阻尼线圈的功能。

[0034] 作为另一种实施方案,除了设置上加速度补偿线圈7、下加速度补偿线圈8、上加速度测量线圈5和下加速度测量线圈6之外,采样质量筒2的上端外部和下端外部还分别设置有上阻尼线圈和下阻尼线圈,上阻尼线圈和下阻尼线圈串联。

[0035] 本发明采用上下对称的线圈和磁场布局。即上磁缸9和下磁缸10对称分布,上导磁块11和下导磁块12上下对称分布,上永磁体13和下永磁体14上下对称分布,上加速度补偿线圈7和下加速度补偿线圈8上下对称分布,上加速度测量线圈5和下加速度测量线圈6上下对称分布,上阻尼线圈和下阻尼线圈上下对称分布。

[0036] 上加速度补偿线圈7、上加速度测量线圈5和上阻尼线圈均位于采样质量筒2上端外壁与上磁缸9内壁之间的间隙内;下加速度补偿线圈8、下加速度测量线圈6和下阻尼线圈均位于采样质量筒2下端外壁与下磁缸10内壁之间的间隙内。

[0037] 上永磁体13使得导磁材料制成的上磁缸和下导磁块之间的间隙充满辐射状匀强磁场,下永磁体14使得导磁材料制成的下磁缸和下导磁块之间的间隙充满辐射状磁场。由于间隙小,该磁场近似为匀强磁场。根据磁力公式 $F=BIL$,其中B为磁场强度,L为线圈长度,I为线圈电流,可得上述各个线圈对应的磁力。

[0038] 上加速度补偿线圈7和下加速度补偿线圈8被稳恒电流源驱动,其磁力用于平衡采样质量筒2的静态重力/加速度,使得采样质量筒2悬浮与上磁缸9和下磁缸10之间,同时使得电容动片301悬浮于电容上定片302和电容下定片303之间;上加速度测量线圈5和下加速度测量线圈6根据变间距式电容位移传感器3得到采样质量筒2相对于框架1的位移和相对运动速度进行控制运算,得到控制电流送至上加速度测量线圈5和下加速度测量线圈6,使得变间距式电容位移传感器3的输出为设定值(典型值为零),对应于采样质量筒2所连接的电容动片301悬浮在电容上定片302和电容下定片303构成的间隙的中央位置。该控制电流包含高频的振动和低频的重力/加速度变化信息,用于提取重力/加速度测量信号。

[0039] 变间距式电容位移传感器3得到采样质量筒2相对于框架1的位移和相对运动速度后,阻尼电路给串联的上阻尼线圈和下阻尼线圈施加成比例的阻尼电流,对应的电磁力与速度方向相反,起阻尼作用。也可将阻尼电流通过加法电路送至串联的上加速度补偿线圈和下加速度补偿线圈中,此时串联的上加速度补偿线圈和下加速度补偿线圈同时起阻尼作用。

[0040] 变间距式电容位移传感器3:包括电容动片301、电容上定片302和电容下定片303,采样质量筒2的中部外周绝缘设置有电容动片301,电容动片301位于电容上定片302和电容下定片303之间,电容动片301上设置有电容导电层,电容上定片302和电容下定片303分别与框架1绝缘连接。电容动片301与采样质量筒2之间为绝缘连接,电容动片301分别与上加速度补偿线圈7、下加速度补偿线圈8、上加速度测量线圈5和下加速度测量线圈6绝缘,或者电容动片301分别与上加速度补偿线圈7、下加速度补偿线圈8、上阻尼线圈和下阻尼线圈绝缘,或者电容动片301分别与上加速度补偿线圈7、下加速度补偿线圈8、上加速度测量线圈5、下加速度测量线圈6、上阻尼线圈和下阻尼线圈绝缘。即变间距式电容位移传感器3与上述各个线圈、框架1、采样质量筒2均绝缘。

[0041] 作为一种优选方案,电容动片301为绝缘套设固定在采样质量筒2的中部的环形片,电容上定片302和电容下定片303均包括环形定片以及定片连接件,环形定片通过定片

连接件与框架1内壁绝缘连接,采样质量筒2依次贯穿电容上定片302和电容下定片303的环形定片。

[0042] 电容动片301、电容上定片302和电容下定片303均垂直于采样质量筒2的中心轴线。电容动片301的运动引起电容动片301与电容上定片302和电容下定片303之间的间距的变化,从而引起电容上定片302和电容下定片303之间的电容量的变化,通过差分电路检测出电容上定片302和电容下定片303之间的电容量的变化,从而测量采样质量筒2沿采样质量筒2的中心轴线的位移变化。根据现有技术,位移检测分辨率优于0.1nm,重复度优于1nm。

[0043] 本发明的变间距式电容位移传感器3采用三明治结构,电容动片301位于电容上定片302和电容下定片303之间,当电容动片301偏离平衡位置时,上下平行的电容上定片302和电容下定片303的电容量一个增大另一个减小,通过差分电路检测出电容上定片302和电容下定片303之间的电容量的变化。在采样质量筒2的中心轴线方向(z向)较小位移时具有良好的线性度。

[0044] $V = k_c \cdot \Delta C \approx k_c \cdot 2\epsilon_0 S \Delta z / d^2 \equiv k_z \cdot \Delta z$,

[0045] 其中, k_z 为变间距式电容位移传感器3的标定系数,S为电容板正对面积,即电容动片301与电容上定片或电容下定片303在采样质量筒2的中心轴线方向上重叠的面积,电容上定片或电容下定片303在采样质量筒的中心轴线方向重合, Δz 为电容动片301沿采样质量筒2的中心轴线方向的位移距离,d为电容极板间距,即电容上定片或电容下定片表面与动片表面间的间隙的距离。正常工作时,上间隙和下间隙将相等,本应用中为1毫米量级。根据已有技术,变间距式电容位移传感器3的检测分辨率优于0.1nm。

[0046] 簧片组4:簧片组4为多个,每个簧片组4均分别与采样质量筒2和框架1内壁绝缘连接,每个簧片组4的中心轴线与采样质量筒2的中心轴线垂直,每个簧片组4之间间隔设定间距(例如厘米量级),各个簧片组4沿采样质量筒2的中心轴线的投影是重合的。每个簧片组包括多片相互平行的独立的簧片条,每个簧片组的各个簧片条位于同一平面,每个簧片组的各个簧片条之间绝缘,每个簧片组的各个簧片条的两端与框架内壁和采样质量筒2之间绝缘连接,可以采用绝缘平板夹持或者绝缘粘接的方式进行绝缘连接,串联的上加速度补偿线圈7和下加速度补偿线圈8两端、串联的上加速度测量线圈5和下加速度测量线圈6两端、串联的上阻尼线圈和下阻尼线圈两端、电容动片、设置在框架内的温度传感器均分别与对应的簧片条连接,并通过簧片条实现与外部导线的连接。

[0047] 在本实施例中,簧片组4为两个。

[0048] 在上述簧片组4的约束下,采样质量筒2只有竖直方向一个平动自由度是低机械刚度的,用于精确敏感重力/加速度变化,其刚度即为簧片组4作为悬臂梁的机械刚度。在采样质量筒2上下平移运动时,簧片组4与采样质量筒2连接处会有细微的沿水平方向的平移运动,其幅度为:

[0049] $x = \frac{L}{2} [1 - \cos(2z/L)] \approx \frac{2z^2}{L}$,

[0050] 其中,z为采样质量筒2的上下运动幅度,x为簧片组4与采样质量筒2连接处沿水平方向的平移运动幅度,L为簧片组4的长度。由上式可见,采样质量筒2的水平运动是二阶小量,与采样质量筒2沿中心轴线运动幅度的平方成正比,与簧片长度成反比。一方面该运动幅度甚小,例如通常 $z = 10\mu\text{m}$ 量级, $L = 2\text{cm}$ 量级, $x = 10\text{nm}$ 量级比z向小三个量级;另一方面,

竖直方向的电容位移传感测量动片与定片间的间距变化,理论上与采样质量的水平运动是解耦合的,因此该运动模式可以忽略。

[0051] 本发明采用两个或以上的簧片组约束采样质量筒2的无关运动模式(即除沿采样质量筒2中心轴方向以外的运动),实现采样质量筒2的平动式加速度测量。克服了现有摆式结构的非线性,避免了现有直立弹簧或斜拉弹簧式重力/加速度仪中弹簧引起的漂移和掉格。本发明装配得到简化、整个结构对称紧凑,极大减小了探头的尺寸和质量,提高了测量精度。

[0052] 本发明采用簧片组的运动约束方式,为加速度测量中的采样质量筒2提供一个平动式的敏感自由度,即沿采样质量筒轴线的自由度,即z自由度。在加速度测量方向所在的平面内,只要布置两个或以上的簧片组,即可实现上述约束,而采样质量筒2的其他自由度的刚度与加速度测量自由度相比无穷大,等效于与框架固连。

[0053] 簧片组4在加速度测量方向上(z自由度)的刚度k的公式为:

[0054] $k=nEwt^3/12L$,

[0055] 其中,n为簧片条个数,E为材料的杨氏模量,w、t、L分别为簧片条的宽度、厚度和长度。

[0056] 以上所述的具体实施方式仅仅是对本发明精神作说明,但本发明的保护范围并不局限于此,本发明所属技术领域的技术人员可以对所描述的具体实施例做各种各样的修改或补充或采用类似方式替代,但并不会偏离本发明的精神或者超越所附权利要求的保护范围。

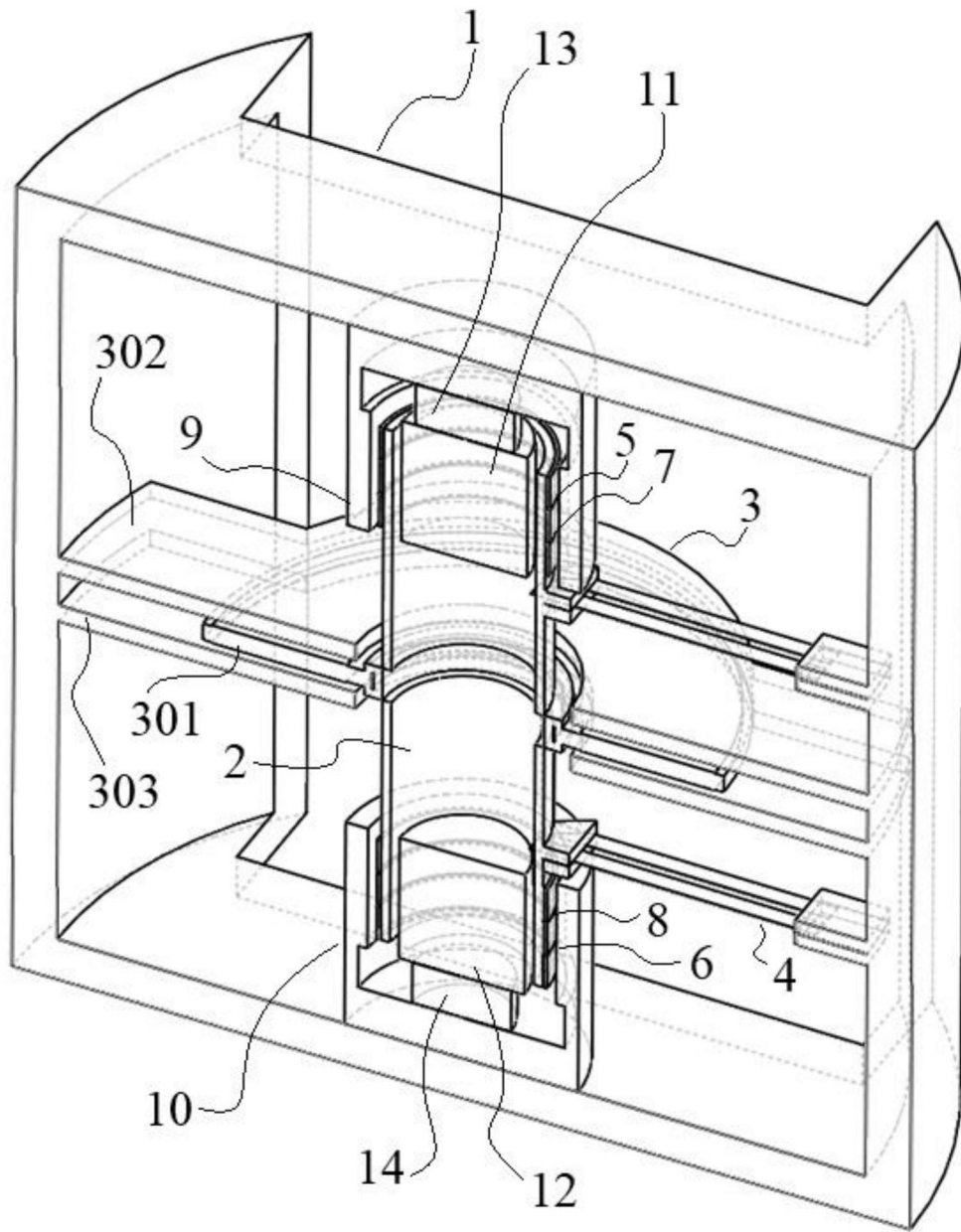


图1

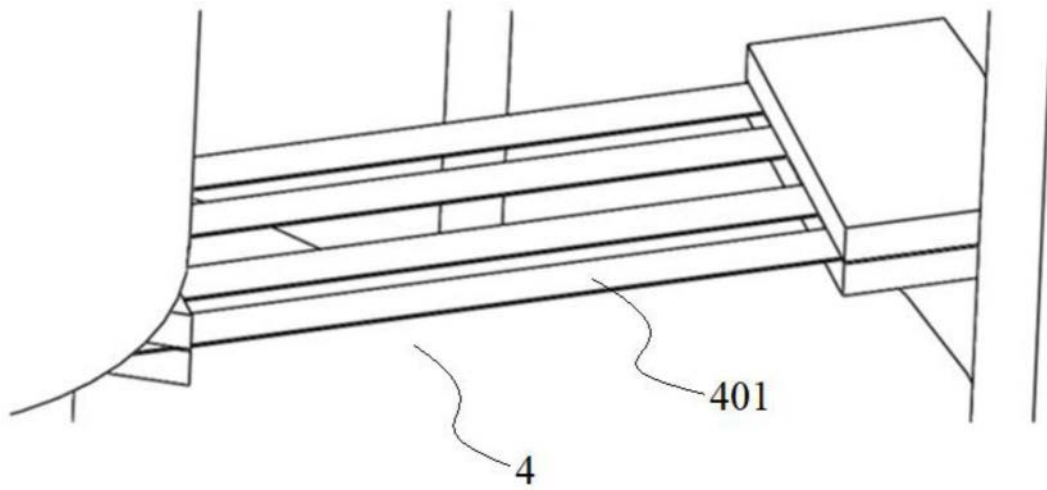


图2

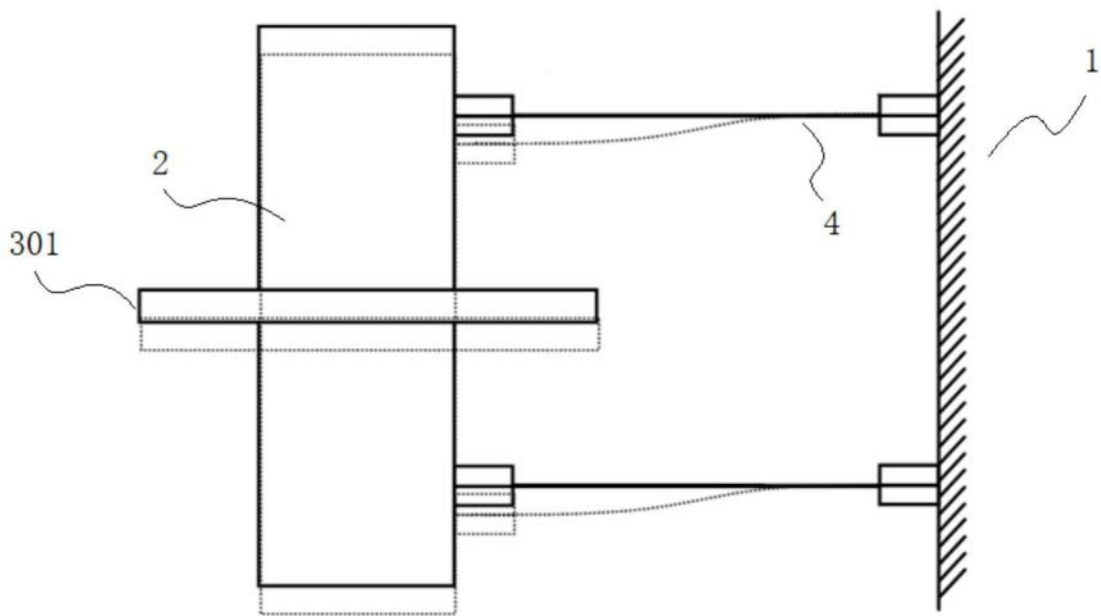


图3

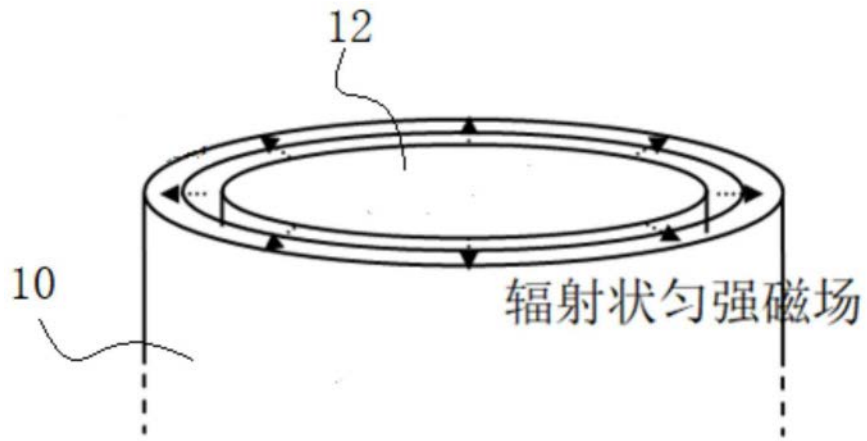


图4

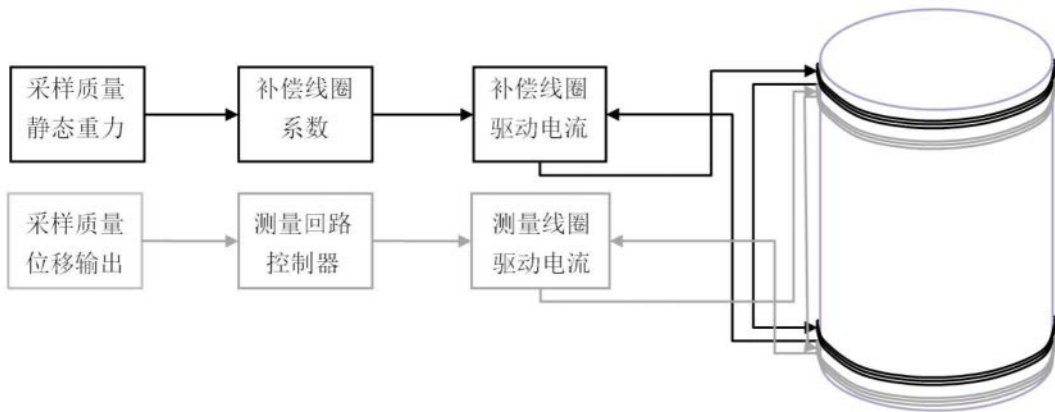


图5

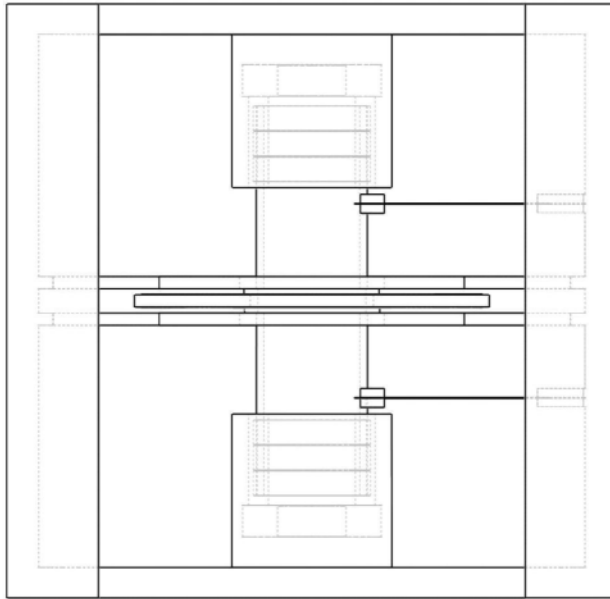


图6

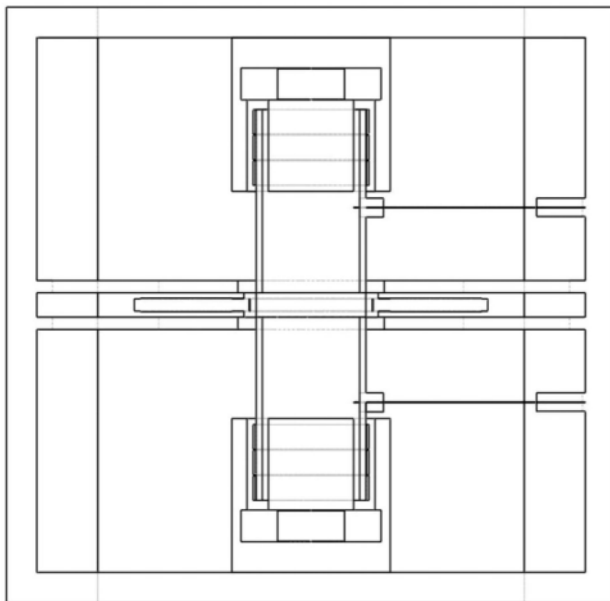


图7

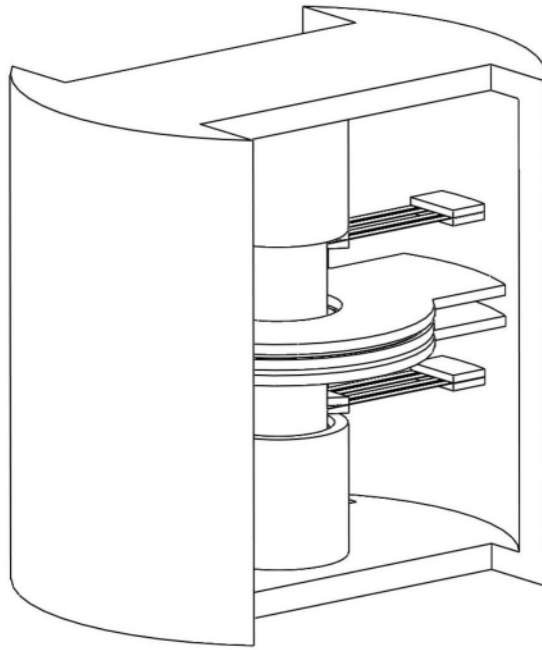


图8