



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103818567 B

(45) 授权公告日 2015. 04. 08

(21) 申请号 201410109898. 6

(22) 申请日 2014. 03. 24

(73) 专利权人 北京航空航天大学  
地址 100091 北京市海淀区学院路 37 号

(72) 发明人 贾英民 贾娇 孙施浩

(51) Int. Cl.  
B64G 7/00(2006. 01)

审查员 张凯

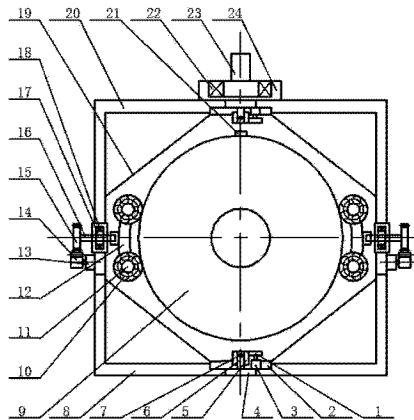
权利要求书2页 说明书5页 附图6页

(54) 发明名称

一种可质心自动找准的无约束悬挂系统

(57) 摘要

一种可质心自动找准的无约束悬挂系统，该系统包括三自由度转动随动模块、紧固模块、质心找准模块与数据采集控制模块。三自由度转动随动模块保证航天器在低摩擦力干扰下做近似无约束的俯仰、偏航、滚动运动；紧固模块在电机的作用下可调整悬挂系统对航天器的夹紧程度；质心找准模块在紧固模块的配合下可在航天器结构变化时完成对航天器质心的自动找准与自动夹紧，保证等效悬挂点与质心时刻重合；数据采集控制模块负责系统信号传递与各模块间的协调控制，完成对变结构航天器的质心自动找准和无约束悬挂。该方法具有单点悬挂即可保证变结构航天器三个转动自由度的运动、系统间不存在耦合、易控制；质心可自动找准；夹紧力可自动调整等优点。



1. 一种可质心自动找准的无约束悬挂系统,其特征是:系统包括三自由度转动随动模块、紧固模块、质心找准模块与数据采集控制模块;

所述三自由度转动随动模块包括推力轴承内固定件、推力轴承、推力轴承外固定件、整体固定框、筋板、俯仰螺柱、俯仰滚动轴承、轴承螺纹套、施力件、滚动轴承轴、滚动轴承与固定螺栓;滚动轴承直接与航天器表面接触,其通过滚动轴承轴固定在施力件上,滚动轴承轴可以在施力件上的方形通孔范围内移动,俯仰螺柱一端与施力件连接,并通过固定在俯仰滚动轴承内的轴承螺纹套控制滚动轴承与航天器贴合的紧密程度,在俯仰螺柱的压紧下,当航天器做滚动运动时,与之接触的滚动轴承跟随滚动;俯仰滚动轴承固定在整体固定框上,内连接有轴承螺纹套,当航天器做俯仰运动时,在俯仰滚动轴承提供的低摩擦支撑下,滚动轴承、施力件、俯仰螺柱、轴承螺纹套随之一起做俯仰运动;推力轴承上端通过推力轴承外固定件安装在整体固定框上,其下端与推力轴承内固定件连接,当航天器做偏航运动即绕着推力轴承轴线转动时,除推力轴承下端以及推力轴承内固定件外,其余部分随航天器偏航运动;整体固定框安装有筋板。

2. 根据权利要求 1 所述的一种可质心自动找准的无约束悬挂系统,其特征是:所述质心找准模块包括下端支撑框、筋板、直线导轨、滑块、装夹伺服电机、调整齿轮、移动齿轮、螺柱、导轨伺服电机、同步轮、同步轮固定架及同步带;装夹伺服电机、螺柱、移动齿轮与调整齿轮构成装夹组;下方的直线导轨安装在下端支撑框上,其上配合有可沿其运动的滑块,滑块上安装有装夹伺服电机与螺柱,调整齿轮安装在装夹伺服电机上,与安装在螺柱上的移动齿轮啮合,可带动移动齿轮沿螺柱轴线方向运动紧固航天器;安装在整体固定框上的对称机构与上述机构配合完成对航天器的紧固动作;航天器被夹紧固定后,安装在直线导轨上的导轨伺服电机通过同步轮与同步带的传动带动安装在直线导轨上的滑块运动,从而带动航天器运动,完成对质心的找准。

3. 根据权利要求 1 所述的一种可质心自动找准的无约束悬挂系统,其特征是:所述紧固模块包括紧固齿轮、单齿齿轮与紧固伺服电机;单齿齿轮安装在紧固伺服电机上并与紧固齿轮啮合,紧固齿轮与三自由度转动随动模块中的俯仰螺柱固连;通过对紧固伺服电机转动的控制,可控制所述三自由度转动随动模块中滚动轴承与航天器贴合的紧密程度;采用单齿齿轮避免在航天俯仰运动时引入额外阻力转矩。

4. 根据权利要求 2 所述的一种可质心自动找准的无约束悬挂系统,其特征是所述数据采集控制模块包括上位机 PC、采集卡、驱动控制卡、距离传感器与倾角传感器;倾角传感器安装在航天器上,距离传感器安装在质心找准模块中的移动齿轮上;数据采集模块协调控制质心找准模块与紧固模块完成对航天器悬挂位置的调整,保证等效悬挂点始终与航天器的质心重合。

5. 根据权利要求 3 或 4 所述的一种可质心自动找准的无约束悬挂系统,其特征是:该系统的工作步骤如下:

(1) 将推力轴承内固定件与外界固定;

(2) 调整紧固模块,将航天器安装在可质心自动找准的无约束悬挂系统上,初步粗略调整航天器的位置,调整施力件上滚动轴承的轴,使各个轴承受力均匀,确保航天器牢固夹持;

(3) 检测系统能否灵活的跟随航天器的滚动、俯仰、偏航运动;

(4) 以上步骤完成后,系统上电,上位机 PC 根据倾角传感器的信息,协调控制质心找准模块与紧固模块协调工作,找准航天器的质心,完成等价悬挂点与质心重合的悬挂;

(5) 质心找准自动固定后,开始航天器的相关验证工作,在实验验证过程中,当上位机 PC 接收到航天器结构变化的信息后,协调紧固模块与质心找准模块,随时调整航天器的悬挂位置,满足等效悬挂点的质心始终与航天器的质心重合;

(6) 完成相关验证或者工作后,关闭电源,卸下航天器。

## 一种可质心自动找准的无约束悬挂系统

### 所属技术领域

[0001] 本发明属于航天器导航、制导与控制系统地面验证技术领域,具体涉及一种用于变结构航天器地面验证的质心自动找准无约束悬挂系统实现方法。

### 背景技术

[0002] 航天工程是一项高风险、高投入、高回报、高度复杂并且高精度的系统工程,它的发展程度决定能否抢占高科技制高点,能否最大程度的利用太空资源。毫无疑问,在我国积极开展航天技术研究迫在眉睫,然而太空环境极其恶劣,为了顺利完成航天任务,必须在地面进行充分的实验,因此国内外各航天机构都非常重视航天器在地面的实验验证。

[0003] 太空环境的一个最重要的特征是微重力,然而,地面实验室为有重力环境,为了在地面再现航天器空间微重力环境中的真实运动情况,提高地面验证导航、制导与控制系统实验的置信度,需要在地面为航天器六自由度运动建立一个与空间真实状况相近的无约束微重力环境。要实现这个目标,其核心是补偿航天器在地面实验室环境中所受的重力,提供航天器三自由度平动及三自由度转动的无约束环境。现有的实现这个目标的手段有液浮法,失重法、气浮法、悬挂法。失重法常见的为抛物飞行和自由落体,此方法的缺点是时间短、占用的空间大、能够提供的空间有限并且成本高;液浮法阻尼大、维护成本高且只适合低速运动的情况,而气浮法与悬挂法系统结构相对简单,易于建立实验室中的无约束微重力环境。如专利申请号为 CN201220400797 的“半主动式重力补偿结构的气浮六自由度模拟卫星装置”公布了一种通过气足推力补偿模拟卫星即航天器的重力,通过气浮轴承提供航天器近似无约束的三个姿态轴转动自由度;专利申请号为 CN201310466806 的“一种无约束悬挂式主动重力补偿系统”公布了一种通过吊丝张力悬挂补偿航天器的重力,通过无约束连接模块提供航天器近似无约束的三个转动自由度。考虑到诸如空间交会对接等空间任务,需要航天器伸出对接机构,其结构发生变化,使得航天器整体质心发生偏移。但是上述两个专利所公布的试验系统姿态运动无约束结构部分无法适用于变结构航天器姿态机动的验证试验。

[0004] 为了克服现有航天器地面试验方法在应对变结构航天器质心发生偏移时的不足,本发明提出一种适用于变结构航天器地面验证的无约束悬挂系统实现方法,可在航天器质心发生偏移对其进行自动找准,与悬挂式主动重力补偿系统结合,可为变结构航天器提供一个近似无约束六自由度运动的微重力环境,进而再现其在空间微重力环境下的真实运动,保证地面验证导航、制导与控制系统的有效性。

### 发明内容

[0005] 本发明提出的一种可质心自动找准的无约束悬挂系统,目的是实现航天器滚动、俯仰与偏航姿态调整时不受悬挂连接装置的约束,同时保证航天器在任意姿态位置发生结构变化时,在不改变其姿态的情况下实现系统对航天器质心的自动找准,使等效悬挂点始终与航天器质心重合,不引入附加偏心转矩,确保航天器始终处于随遇平衡的状态,为变结

构航天器提供一个近似无约束的三自由度姿态调整运动环境。

[0006] 本发明基于悬挂点与被悬挂物体质心重合,被悬挂物体处于随遇平衡状态,物体重力不产生附加转矩,同时精密滚动轴承摩擦力小,滚动摩擦力产生的附加转矩远小于航天器姿态调整力矩,因而本发明提出的集三自由度转动随动模块、紧固模块、质心找准模块与数据采集控制模块于一体的一种可质心自动找准的无约束悬挂系统,能够很好地实现为变结构航天器提供一个近似无约束的三自由度姿态调整运动环境这一预定目标。

[0007] 本发明的技术方案:

[0008] 一种可质心自动找准的无约束悬挂系统包括三自由度转动随动模块、紧固模块、质心找准模块与数据采集控制模块。

[0009] 所述三自由度转动随动模块可保证航天器在低摩擦力干扰下做近似无约束的俯仰、偏航、滚动运动;所述紧固模块在电机的作用下可调整悬挂系统对航天器的夹紧程度;所述质心找准模块在所述紧固模块的配合下可在航天器结构变化时完成对航天器质心的自动找准与自动夹紧,保证等效悬挂点与质心时刻重合,航天器的重力不影响其姿态调整运动;所述数据采集控制模块负责系统信号传递与协调控制,使系统各模块按系统设计工作,完成对变结构航天器的质心自动找准和无约束悬挂。

[0010] 进一步,所述三自由度转动随动模块包括推力轴承内固定件、推力轴承、推力轴承外固定件、整体固定框、筋板、俯仰螺柱、俯仰滚动轴承、轴承螺纹套、施力件、滚动轴承轴、滚动轴承与固定螺栓。滚动轴承直接与航天器表面接触,其通过滚动轴承轴固定在施力件上,俯仰螺柱一端与施力件连接,并通过固定在俯仰滚动轴承内的轴承螺纹套控制滚动轴承与航天器贴合的紧密程度,在俯仰螺柱的压紧下,当航天器做滚动运动时,与之接触的滚动轴承跟随滚动;俯仰滚动轴承固定在整体固定框上,内连接有轴承螺纹套,当航天器做俯仰运动时,在俯仰滚动轴承提供的低摩擦支撑下,滚动轴承、施力件、俯仰螺柱、轴承螺纹套随之一起做俯仰运动;推力轴承上端通过推力轴承外固定件安装在整体固定框上,其下端与推力轴承内固定件连接,当航天器做偏航运动即绕着推力轴承轴线转动时,除推力轴承下端以及推力轴承内固定件外,其余部分随航天器偏航运动,实现了航天器的三个转动自由度不受连接装置的约束。整体固定框安装有筋板,增加系统的稳定性。

[0011] 进一步,所述紧固模块包括紧固齿轮、单齿齿轮与紧固伺服电机。单齿齿轮安装在紧固伺服电机上,紧固伺服电机每转动一周,与单齿齿轮啮合的紧固齿轮转动一个单齿对应的弧度,紧固齿轮与三自由度转动随动模块中的俯仰螺柱固连。通过对紧固伺服电机转动的控制,可控制所述三自由度转动随动模块中滚动轴承与航天器贴合的紧密程度。采用单齿齿轮可避免在航天俯仰运动时引入额外阻力转矩,其原理在于,若齿轮为全齿,紧固齿轮跟随航天器俯仰运动时,与之啮合安装在紧固伺服电机上的齿轮跟随转动,从而带动紧固伺服电机电机轴的转动,引入电机轴转动的阻力转矩,若是单齿,当紧固模块不工作时,伺服电机带动单齿齿轮转动到不与紧固齿轮啮合的位置,则可避免额外阻力转矩的引入。

[0012] 进一步,所述质心找准模块包括下端支撑框、筋板、直线导轨、滑块、装夹伺服电机、调整齿轮、移动齿轮、螺柱、导轨伺服电机、同步轮、同步轮固定架、同步带以及安装在整体固定框上与之配合的直线导轨、滑块、装夹伺服电机、螺柱、移动齿轮、调整齿轮。装夹伺服电机、螺柱、移动齿轮与调整齿轮构成装夹组。下方的直线导轨安装在下端支撑框上,其上配合有可沿其运动的滑块,滑块上安装有装夹伺服电机与螺柱,调整齿轮安装在装夹伺

服电机上,与安装在螺柱的移动齿轮啮合,可带动移动齿轮沿螺柱轴线方向运动紧固航天器;安装在整体固定框上的对称机构与上述机构配合完成对航天器的紧固动作。航天器被夹紧固定后,安装在直线导轨上的导轨伺服电机通过同步轮与同步带的传动带动安装在直线导轨上的滑块运动,从而带动航天器运动,完成对质心的找准。下端支撑框安装了筋板,保证稳定性。

[0013] 进一步,所述数据采集控制模块包括上位机 PC、采集卡、驱动控制卡、距离传感器与倾角传感器。倾角传感器安装在航天器上,距离传感器安装在质心找准模块中的移动齿轮上。数据采集模块协调控制质心找准模块与紧固模块完成对航天器悬挂位置的调整,保证等效悬挂点始终与航天器的质心重合。

[0014] 根据上述的机械结构和控制系统,本发明提出的一种可质心自动找准的无约束悬挂系统可实现航天器悬挂时三个转动自由度即姿态调整的无约束运动以及航天器结构发生变化时对航天器的质心找准与自动装夹。其中航天器三个转动自由度的无约束运动工作原理在三自由度转动随动模块进行了详细介绍,现在介绍航天器结构变化时对其进行质心找准与自动装夹过程。当系统接收到航天器结构将要发生变化的信号时,安装在航天器上的倾角传感器以及安装在质心找准模块移动齿轮上的距离传感器将当前信号经采集卡传递给上位机 PC,当航天器结构发生变化时,上位机 PC 根据倾角传感器与距离传感器的信息,控制紧固模块工作,松开对航天器的夹持,同时控制质心调整模块装夹组保持航天器当前姿态不变的情况下,将其夹紧,然后根据航天器对接环的质量与运动的加速度、速度,估算航天器质心变化的情况,控制质心找准模块调整航天器的位置,进行质心找准,当航天器结构变化完成后,装夹组松开航天器,紧固模块作用将航天器夹紧,判断倾角传感器上的数值是否与航天器结构变化前的一致以及能否保证现有姿态,若一致并保持现有姿态,继续进行验证工作,如不一致或不能保持现有姿态,紧固模块放弃作用,质心调整模块启动,再次调整航天器的位置,直到找准航天器的质心,使航天器的质心与等价悬挂点重合后,进行验证工作。

[0015] 由上述系统结构及工作原理得出工作步骤:

[0016] (1) 将推力轴承内固定件与外界固定;

[0017] (2) 调整紧固模块,将航天器安装在可质心自动找准的无约束悬挂系统上,初步粗略调整航天器的位置,调整施力件上滚动轴承的轴,使各个轴承受力均匀,确保航天器牢固夹持;

[0018] (3) 检测系统能否灵活的跟随航天器的滚动、俯仰、偏航运动;

[0019] (4) 以上步骤完成后,系统上电,上位机 PC 根据倾角传感器的信息,协调控制质心找准模块与紧固模块协调工作,找准航天器的质心,完成等价悬挂点与质心重合的悬挂;

[0020] (5) 质心找准自动固定后,开始航天器的相关验证工作,在实验验证过程中,当上位机 PC 接收到航天器结构变化的信息后,协调紧固模块与质心找准模块工作,随时调整航天器的悬挂位置,满足等效悬挂点的质心始终与航天器的质心重合;

[0021] (6) 完成相关验证或者工作后,关闭电源,卸下航天器。

[0022] 本发明对比已有技术方法具有以下特点:

[0023] 1、单点悬挂即可保证变结构航天器三个转动自由度的近似无约束运动、结构简单、安装操作方便、系统间不存在耦合、易控制;

- [0024] 2、低摩擦,对航天器的姿态运动阻力转矩小 ;
- [0025] 3、实现了变结构航天器的质心自动找准,找准精度高,适用范围广 ;
- [0026] 4、悬挂时不改变航天器的结构,无需附属装置 ;
- [0027] 5、夹紧力可自动调整。

### 附图说明

[0028] 图 1 是本发明一种可质心自动找准的无约束悬挂系统的正视图 :

[0029] 图中标号 :

[0030] 1 :调整齿轮 ;2 :滑块 ;3 :装夹伺服电机 ;4 :直线导轨 ;5 :移动齿轮 ;6 :螺柱 ;7 : 距离传感器 ;8 :下端支撑框 ;9 :航天器 ;10 :滚动轴承 ;11 :滚动轴承轴 ;12 :施力件 ;13 : 紧固伺服电机 ;14 :单齿齿轮 ;15 :紧固齿轮 ;16 :俯仰螺柱 ;17 :轴承螺纹套 ;18 :俯仰滚动轴承 ;19 :筋板 ;20 :整体固定框 ;21 :倾角传感器 ;22 :推力轴承 ;23 :推力轴承内固定件 ;24 : 推力轴承外固定件。

[0031] 图 2 是本发明一种可质心自动找准的无约束悬挂系统的侧视图 :

[0032] 图中标号 :

[0033] 25 :同步轮固定架 ;26 :同步带 ;27 :固定螺栓 ;28 :同步轮 ;29 :导轨伺服电机 ; 30 :航天器对接环。

[0034] 图 3 是本发明一种可质心自动找准的无约束悬挂系统 A 向视图。

[0035] 图中标号 :

[0036] 1 :固定螺栓 ;2 :滚动轴承轴 ;3 :施力件 ;4 :施力件长方形通孔。

[0037] 图 4 是本发明一种可质心自动找准的无约束悬挂系统分块图。

[0038] 图 5 是本发明一种可质心自动找准的无约束悬挂系统装夹组工作正视图。

[0039] 图 6 是本发明一种可质心自动找准的无约束悬挂系统装夹组工作侧视图。

[0040] 图 7 是本发明一种可质心自动找准的无约束悬挂系统的控制框图。

[0041] 图 8 是本发明一种可质心自动找准的无约束悬挂系统质心自动找准工作流程图。

### 具体实施方式

[0042] 下面结合附图对本发明做进一步说明 :三自由度转动随动模块利用轴承将滑动转化为滚动,实现了对航天器三个转动自由度的灵活跟随 ;紧固模块在伺服电机的作用下,利用螺纹的自锁性调整施力的大小 ;质心找准模块利用航天器的质心与等价悬挂点重合时保持随遇平衡的状态,在相关数据采集控制模块的协调控制下,与紧固模块一起在不影响航天器现有姿态的情况下完成对质心的找准,保证悬挂点始终与航天器质心重合,航天器的重力对航天器的动力学特性不产生影响。

[0043] 具体来说,八个滚动轴承 10 组成的轴承组与航天器 9 直接接触,在俯仰螺柱 16 的压紧下,轴承组可跟随航天器 9 的滚动运动,轴承组通过滚动轴承轴 11 在固定螺栓 27 的作用下固定在施力件 12 上,滚动轴承轴 11 可在小范围内移动 (具体实施方法如图 4 所示,滚动轴承轴 2 安装在施力件 3 上的施力件长方形通孔 4 内,可沿施力件长方形通孔在通孔范围内移动,当位置调整好后,利用固定螺栓 1 将其紧固。),位置确定后由固定螺栓 27 固定在施力件 12 上,他们构成的类似小车的组件与俯仰螺柱 16 连接,俯仰螺柱 16 安装在嵌进

俯仰滚动轴承 18 的轴承螺纹套 17 内,在俯仰滚动轴承 18 提供的低摩擦支撑下,可跟随航天器 9 的俯仰运动。俯仰螺柱 16 上端安装有紧固齿轮 15,紧固齿轮 15 与单齿齿轮 14 啮合,在安装在整体固定框 20 上的紧固伺服电机 13 的带动下转动,带动俯仰螺柱 16 左右运动,控制轴承组与航天器 9 的贴合程度即夹紧程度。俯仰滚动轴承 18 安装在整体固定框 20 上,为了保证系统整体结构的稳定性,在整体固定框 20 上安装有筋板 19。推力轴承 22 通过推力轴承外固定件 24 安装在整体固定框 20 上,另一端通过推力轴承内固定件 23 与外界连接,推力轴承保证系统整体可跟随航天器 9 的偏航运动。质心调整模块的结构相对于三自由度转动随动模块与紧固模块的结构较为独立,直线导轨 4 安装在下端支撑框 8 上,其上配合有可以沿其运动的滑块 2,滑块 2 上安装有螺柱 6 与装夹伺服电机 3,装夹伺服电机 3 可以带动安装在其上的调整齿轮 1 转动,从而带动安装在螺柱 6 上的移动齿轮 5 运动,移动齿轮 5 上安装有距离传感器 7,时刻测量到航天器 9 的距离。螺柱 6、装夹伺服电机 3、调整齿轮 1、移动齿轮 5 与距离传感器 7 构成的组件共四组,他们共同构成了质心调整模块的装夹组如图 2 所示,装夹组可完成对航天器任意姿态的装夹如图 5、图 6 所示。同步带 26 固定在滑块 2 上,同步带的两端各有一同步轮,同步轮 28 安装在导轨伺服电机 29 上,导轨伺服电机 29 安装在直线导轨 4 上,另一同步轮通过同步轮固定架 25 固定在直线导轨 4 上,在与下端支撑框 8 安装有导轨 4 的对称的整体固定框 20 的位置安装有随动的直线导轨与滑块,在伺服电机 29 的带动下,滑块 2 可沿直线导轨运动,带动航天器 9 运动,完成对质心的找准,具体工作流程如图 8 所示。

[0044] 结合上述说明系统工作的基本步骤为:

[0045] 1) 将推力轴承内固定件与外界固定;

[0046] 2) 调整紧固模块,将航天器安装在可质心自动找准的无约束悬挂系统上,初步粗略调整航天器的位置,调整施力件上小轴承的轴,使各个轴承受力均匀,确保航天器牢固夹持;

[0047] 3) 检测系统能否灵活的跟随航天器的滚动、俯仰、偏航运动;

[0048] 4) 以上步骤完成后,系统上电,上位机 PC 根据倾角传感器的信息,协调控制质心找准模块与紧固模块协调工作,找准航天器的质心,完成等价悬挂点与质心重合的悬挂;

[0049] 5) 质心找准自动固定后,开始航天器的相关验证工作,在实验验证过程中,当 PC 接收到航天器结构变化的信息后,协调紧固模块与质心找准模块,随时调整航天器的悬挂位置,满足等效悬挂点的质心始终与航天器的质心重合;

[0050] 6) 完成相关验证或者工作后,关闭电源,卸下航天器。



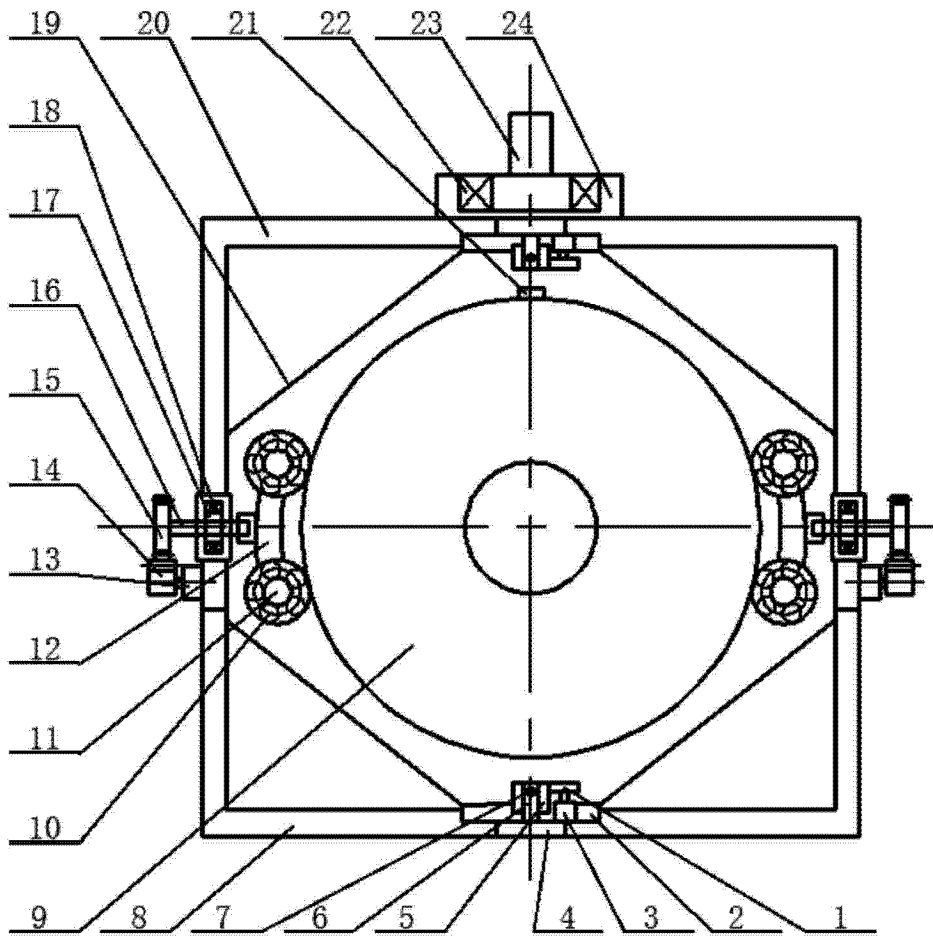


图 1

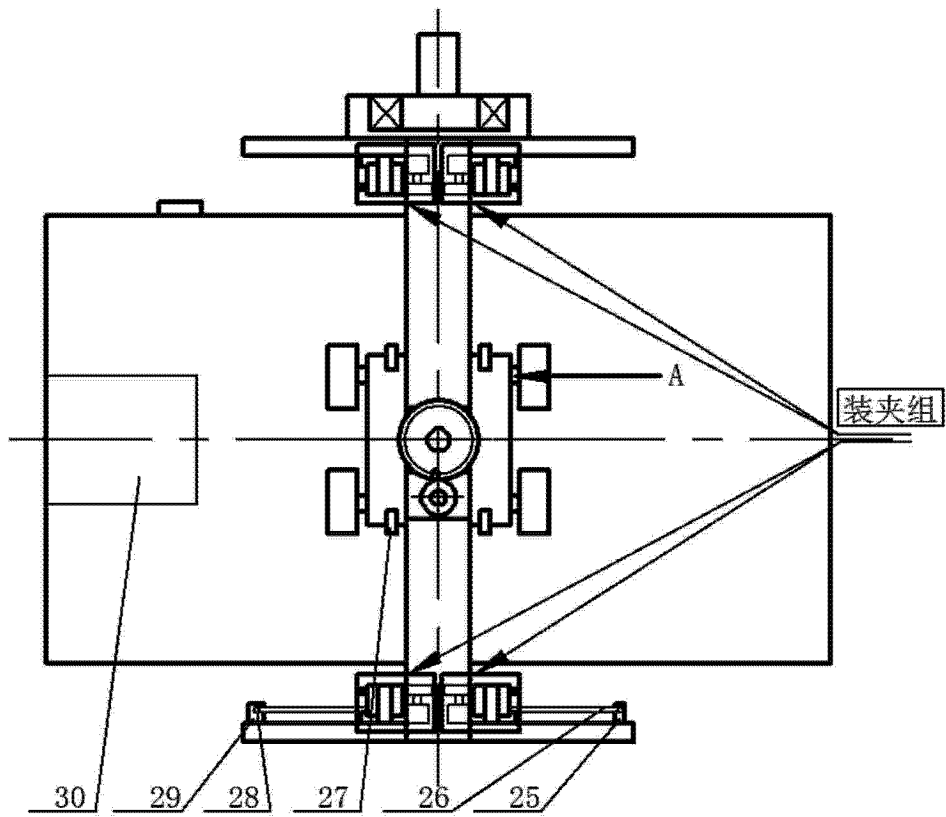


图 2

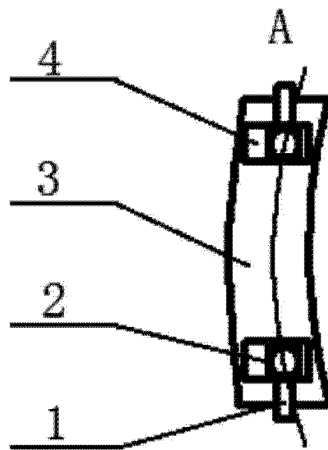


图 3

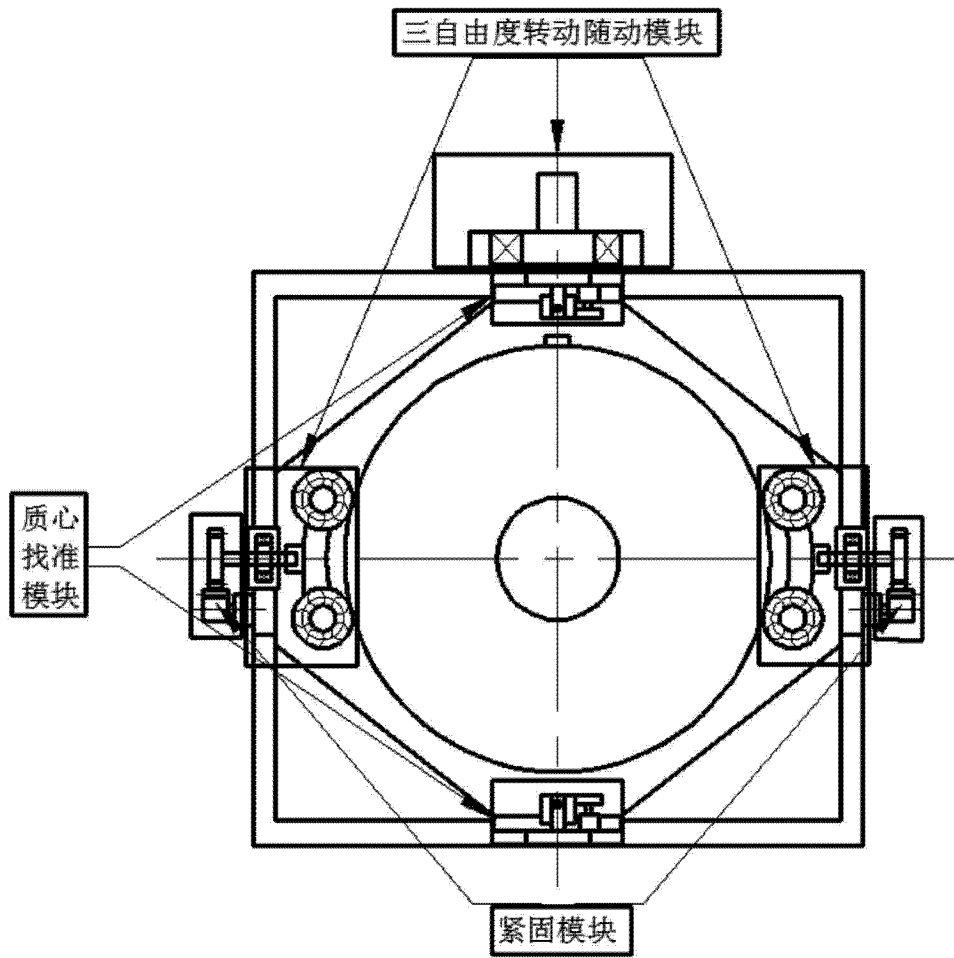


图 4

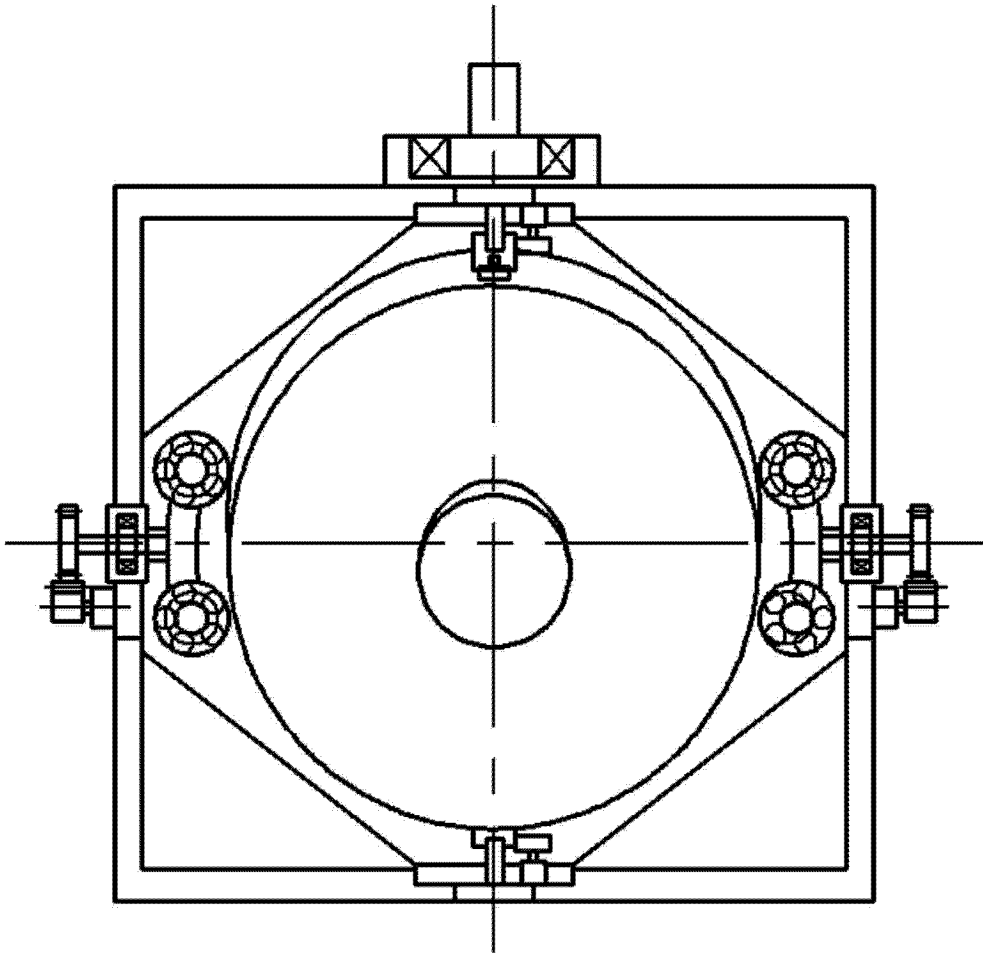


图 5

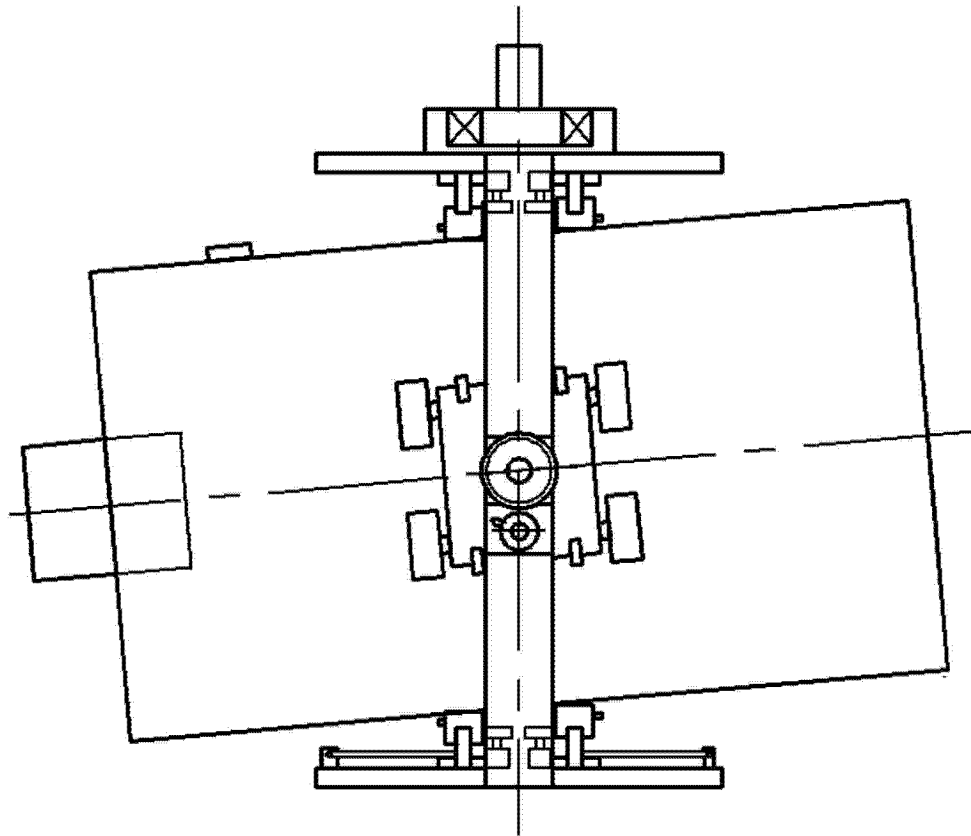


图 6

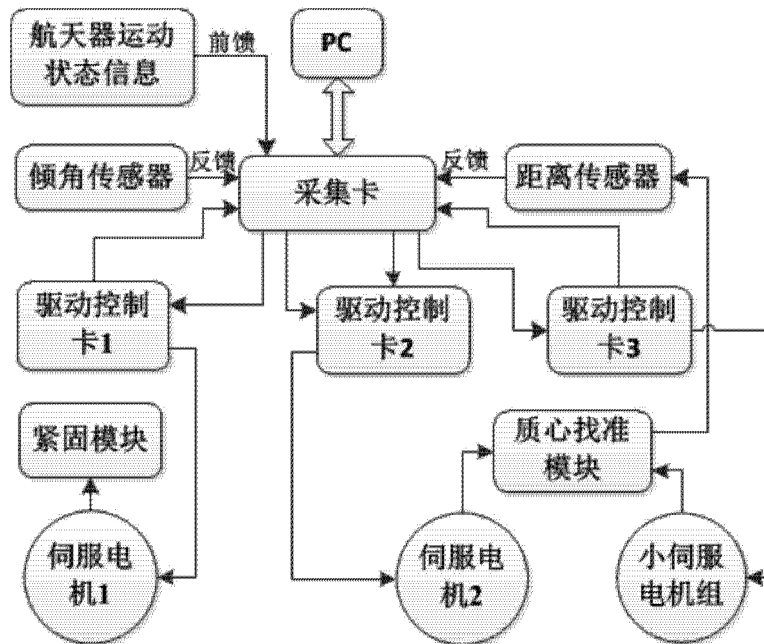


图 7

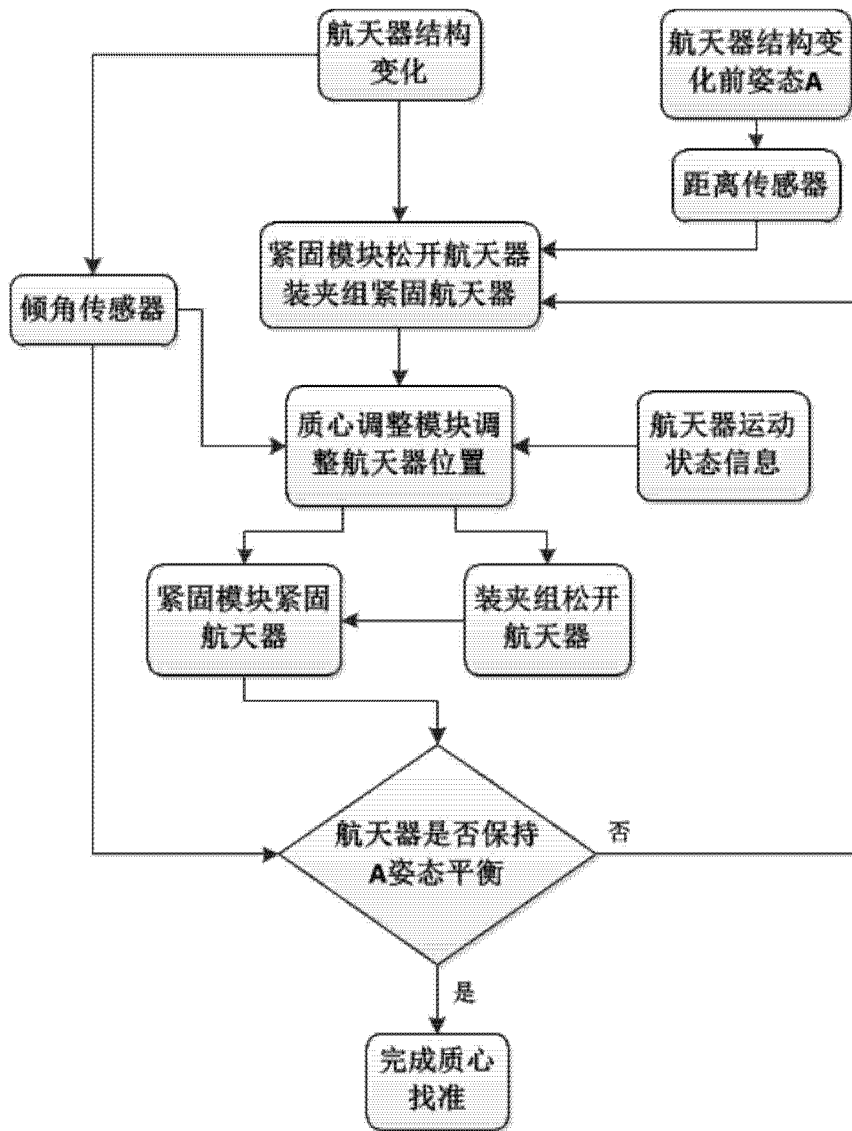


图 8