



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112945601 B

(45) 授权公告日 2022. 11. 29

(21) 申请号 202110269131.X

(51) Int.Cl.

(22) 申请日 2021.03.12

G01M 99/00 (2011.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

审查员 李莎

申请公布号 CN 112945601 A

(43) 申请公布日 2021.06.11

(73) 专利权人 中国科学院力学研究所

地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

专利权人 中国科学院力学研究所广东空天科技研究院

(72) 发明人 冯冠华 李文皓 张珩

(74) 专利代理机构 北京和信华成知识产权代理事务所(普通合伙) 11390

专利代理师 胡剑辉

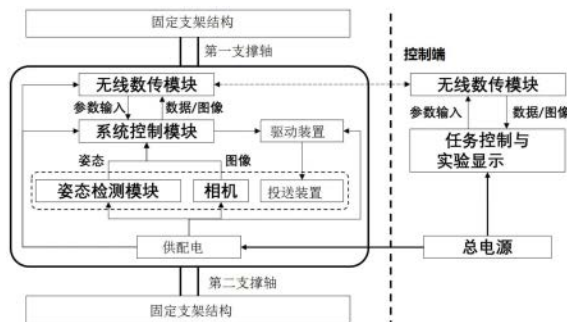
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

## (54) 发明名称

一种低轨道地磁储能释能投送地面试验系统和

## (57) 摘要

本发明公开了一种低轨道地磁储能释能投送地面试验系统,包括系统控制模块、驱动装置、投送装置、姿态检测模块、无线传输模块以及控制端;其实现方法为:通过控制端为系统上电,并输入系统所需的生成磁矩大小和角度,投送目标分离的线速度的控制参数信号;驱动装置通过接收角度控制参数信号调节最大磁力矩位置,后接收生成磁矩大小控制参数信号产生稳定磁矩,同时姿态检测模块检测系统的姿态信号形成第一投送组件和第二投送组件进行地磁储能的快速对转动作;待投送装置检测到投送目标的线速度达到设定的分离线速度时,控制端发出第一投送组件和第二投送组件上的投送目标的分离信号完成投送目标的投送,实现了对投送地面系统实验的原理验证支撑。



1. 一种低轨道地磁储能释能投送地面试验系统,其特征在于,包括系统控制模块、驱动装置(1)、投送装置(2)、姿态检测模块、无线传输模块以及控制端;

所述系统控制模块,从所述控制端通过无线传输模块获取用于驱动所述驱动装置(1)和所述投送装置(2)工作的控制信号;

所述驱动装置(1),与所述投送装置(2)连接,并配置成与所述投送装置(2)的在转动时的惯量主轴共线,所述驱动装置(1)用于接收系统控制模块的控制信号驱动所述投送装置(2)进入地磁储能状态;

所述投送装置(2),接收系统控制模块的控制信号由地磁储能状态向地磁释能状态转变,对安装在投送装置(2)上的投送目标(12)进行投送;

所述姿态检测模块,用于实时监测所述驱动装置(1)和所述投送装置(2)的工作姿态,并反馈至所述系统控制模块,所述系统控制模块实时更新所述控制信号;

所述驱动装置(1)和所述投送装置(2)通过固定支架结构(3)安装在实验场地上,所述固定支架结构(3)的内部竖直安装有共线轴,所述投送装置(2)和驱动装置(1)均安装在所述共线轴上,所述共线轴的顶部通过滚珠轴承组件(4)安装在所述固定支架结构(3)上,所述共线轴的底部通过止推轴承组件(5)连接在所述固定支架结构(3)上;

所述固定支架结构(3)包括三个呈“匚”字形的连接框架(31),以及分别固定连接三个所述连接框架(31)的顶部和底部的固定环(32),三个所述连接框架(31)均匀分布在所述固定环(32)的周向上,且三个所述连接框架(31)的顶部和底部的端部沿所述固定环(32)的径向延伸至所述固定环(32)的圆心处,所述止推轴承组件(5)和滚珠轴承组件(4)对应安装在三个所述连接框架(31)延伸至所述固定环(32)圆心处的端部;

所述共线轴包括轴向安装在位于所述连接框架(31)上部的所述固定环(32)圆心处的第一支撑轴(6)和轴向安装在位于所述连接框架(31)下部的所述固定环(32)圆心处的第二支撑轴(7),所述第一支撑轴(6)和第二支撑轴(7)均连接所述驱动装置(1),所述投送装置(2)安装在所述第一支撑轴(6)的轴身上,且所述第一支撑轴(6)和所述第二支撑轴(7)共线;

所述投送装置(2)包括套装在所述第一支撑轴(6)的轴身上的第一投送组件(8)和第二投送组件(9),且所述第一投送组件(8)和第二投送组件(9)均包括投送连接架(10),以及驱动所述投送连接架(10)以第一支撑轴(6)为转动轴进行转动的能量交换装置(11);

所述第一投送组件(8)和第二投送组件(9)的所述投送连接架(10)在对应的能量交换装置(11)驱动下的转动方向相反,所述投送目标(12)安装在所述投送连接架(10)的端部。

2. 根据权利要求1所述的一种低轨道地磁储能释能投送地面试验系统,其特征在于,所述止推轴承组件(5)包括止推轴承主体(51)和止推轴承座(52),所述第二支撑轴(7)的下端通过所述止推轴承主体(51)安装在所述止推轴承座(52)中,位于所述第二支撑轴(7)底部的三个所述连接框架(31)延伸至所述固定环(32)圆心处的端部设置有安装所述止推轴承座(52)的退让槽A;

所述滚珠轴承组件(4)包括滚珠轴承主体(41)和滚珠轴承座(42),所述第一支撑轴(6)的顶部通过滚珠轴承主体(41)安装在所述滚珠轴承座(42)中,位于第一支撑轴(6)的顶部的三个所述连接框架(31)延伸至所述固定环圆心处的端部设置有安装所述滚珠轴承座(42)的退让槽B。

3. 根据权利要求2所述的一种低轨道地磁储能释能投送地面试验系统,其特征在于,所述驱动装置(1)包括用于安装产生磁力矩的线圈的环形支撑架(101),所述环形支撑架(101)的某一直径的两个端部均安装有连接件(102),所述第二支撑轴(7)的顶部通过连接件(102)连接所述环形支撑架(101),所述第一支撑轴(6)的底部通过连接件(102)连接所述环形支撑架(101),两个所述连接件(102)所在的所述环形支撑架(101)的直径与所述第一支撑轴(6)和第二支撑轴(7)共线。

4. 一种根据权利要求1-3任意一项所述的低轨道地磁储能释能投送地面试验系统的实现方法,其特征在于,包括步骤:

S100、通过控制端为系统上电,并通过控制端输入系统所需的包括驱动装置的生成磁矩大小和角度,以及投送装置进行投送目标分离的线速度的控制参数信号,并通过无线传输模块输送至系统控制模块;

S200、驱动装置通过接收系统控制模块的角度控制参数信号调节自身至相对于共线轴的最大磁力矩位置,然后接收生成磁矩大小控制参数信号控制驱动装置产生稳定磁矩,同时姿态检测模块检测第一支撑轴的姿态信号形成第一投送组件和第二投送组件进行地磁储能的快速对转动作;

S300、待投送装置检测到投送目标的线速度达到设定的分离线速度时,控制端发出第一投送组件和第二投送组件上的投送目标的分离信号完成投送目标的投送,随后系统控制模块控制第一投送组件和第二投送组件减速直至完全停止。

5. 根据权利要求4所述的一种低轨道地磁储能释能投送地面试验系统的实现方法,其特征在于,在S200中,通过姿态检测模块和相机实时记录系统实验过程中的第一支撑轴、第二支撑轴以及驱动装置、投送装置的状态图像,系统控制模块将图像及实验过程的数据信息通过无线传输模块实时传输回至控制端。

6. 根据权利要求5所述的一种低轨道地磁储能释能投送地面试验系统的实现方法,其特征在于,在驱动装置通过接收系统控制模块的角度控制参数信号调节自身至相对于共线轴的最大磁力矩位置后,直至第一投送组件和第二投送组件减速直至完全停止均保持最大磁力矩位置姿态不变。

## 一种低轨道地磁储能释能投送地面试验系统和方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及实验系统技术领域,具体涉及一种低轨道地磁储能释能投送地面试验系统和方法。

### 背景技术

[0002] 直径10cm大小的空间碎片可给航天器和宇航员带来严重威胁,哈勃望远镜、航天飞机以及国际空间站均受到过空间碎片的撞击。随着人类空间活动的日益活跃,同时考虑到碰撞级联效应(Kessler 效应),空间碎片的数量迅速增加,对空间活动造成威胁的概率快速增加。如果不能主动地有效清除现有空间碎片,或减缓空间碎片增加速度,未来将严重影响人类的太空开发进程。目前在轨的近20000余个尺度大于10cm的空间碎片,有近70%分布在高度500km~1000km不同倾角的低地球轨道上,这些碎片如仅靠自身的大气阻力衰减轨道高度,在数十年内都无法进入地球大气层。相比于地球同步轨道(高度36000km,轨道唯一,资源稀缺),低轨空间碎片分布散、数量多兼具高威胁和低价值特点,尽管可以主动清除,但清除低轨道太空碎片的效率性和经济性却难以解决。

[0003] 现有问题:各国均积极的发展无工质消耗型碎片清除方法,一些方法虽然设想很好,但难以实现,比如使用地面/天基高能激光清理碎片,其基本原理是通过高能激光灼烧,使灼烧产物急剧膨胀离开碎片,碎片获得反冲量而降轨,这种方法虽有理论实现的可能性,但如何产生预期的反冲量,如何有效灼烧而非破坏产生新的碎片群等问题均难以解决。

[0004] 在无工质消耗型变轨/离轨方法中,空间电动绳系是目前认为可行性和可实现性最高的一种方式。电动绳系通过收集空间的带电粒子,在低轨空间的地球磁场中通过通电绳系所受到的安培力进行轨道调整,仅有电力消耗,没有工质消耗。然而,空间电动绳系效能依赖于绳系尺度,数千米至数十千米的巨大尺度使绳系系统在空间稳定运行的可靠性问题非常突出。

[0005] 尽管有多个理论研究和空间试验表明绳系系统具有相当的安全系数,但是也有惨痛经历,美国的SED-2(1994年发射,绳系展开19.7km)绳系在轨展开仅4天便被空间碎片/微流星切断,说明绳系的空间安全问题还需要慎重和细致地考虑和设计。因此,现有无工质消耗型空间碎片主动清除方法均是原理可行,但都存在各自的技术问题。

[0006] 而,由于地磁场能可无限获取,采用简单、空间尺度小的储能投送机构,可实现地磁场能的获取和储存,实现碎片快速离轨,理论可行且技术可实现(例如:专利申请号为CN201910774236.3的一种地磁蓄能低轨道空间碎片离轨投送轨姿耦合调整方法),但针对该方法目前缺乏有效的地面实验系统,以实现地磁能的获取、转换、储存和释放,验证该方法的原理可行、储能能力是否足够用于主动碎片清除、碎片精准释放投送,很大程度上限制了该方法的发展与实际在轨应用。

### 发明内容

[0007] 本发明的目的在于提供一种低轨道地磁储能释能投送地面试验系统和方法,以解

决现有技术中清除低轨道太空碎片的方法在实验阶段缺乏有效的实验系统的技术问题。

[0008] 为解决上述技术问题,本发明具体提供下述技术方案:

[0009] 一种低轨道地磁储能释能投送地面试验系统,包括系统控制模块、驱动装置、投送装置、姿态检测模块、无线传输模块以及控制端;

[0010] 所述系统控制模块,从所述控制端通过无线传输模块获取用于驱动所述驱动装置和所述投送装置工作的控制信号;

[0011] 所述驱动装置,与所述投送装置连接,并配置成与所述投送装置的在转动时的惯量主轴共线,所述驱动装置用于接收系统控制模块的控制信号驱动所述投送装置进入地磁储能状态;

[0012] 所述投送装置,接收系统控制模块的控制信号由地磁储能状态向地磁释能状态转变,对安装在投送装置上的投送目标进行投送;

[0013] 所述姿态检测模块,用于实时监测所述驱动装置和所述投送装置的工作姿态,并反馈至所述系统控制模块,所述系统控制模块实时更新所述控制信号。

[0014] 作为本发明的一种优选方案,所述驱动装置和所述投送装置通过固定支架结构安装在实验场地上,所述固定支架结构的内部竖直安装有共线轴,所述投送装置和驱动装置均安装在所述共线轴上,所述共线轴的顶部通过滚珠轴承组件安装在所述固定支架结构上,所述共线轴的底部通过止推轴承组件连接在所述固定支架结构上。

[0015] 作为本发明的一种优选方案,所述固定支架结构包括三个呈“C”字形的连接框架,以及分别固定连接三个所述连接框架的顶部和底部的固定环,三个所述连接框架均匀分布在所述固定环的周向上,且三个所述连接框架的顶部和底部的端部沿所述固定环的径向延伸至所述固定环的圆心处,所述止推轴承组件和滚珠轴承组件对应安装在三个所述连接框架延伸至所述固定环圆心处的端部。

[0016] 作为本发明的一种优选方案,所述共线轴包括轴向安装在位于所述连接框架上部的所述固定环圆心处的第一支撑轴和轴向安装在位于所述连接框架下部的所述固定环圆心处的第二支撑轴,所述第一支撑轴和第二支撑轴均连接所述驱动装置,所述投送装置安装在所述第一支撑轴的轴身上,且所述第一支撑轴和所述第二支撑轴共线。

[0017] 作为本发明的一种优选方案,所述投送装置包括套装在所述第一支撑轴的轴身上的第一投送组件和第二投送组件,且所述第一投送组件和第二投送组件均包括投送连接架,以及驱动所述投送连接架以所述第一支撑轴为转动轴进行转动的能量交换装置,且所述第一投送组件和第二投送组件的所述投送连接架在对应的能量交换装置驱动下的转动方向相反,所述投送目标安装在所述投送连接架的端部。

[0018] 作为本发明的一种优选方案,所述止推轴承组件包括止推轴承主体和止推轴承座,所述第二支撑轴的下端通过所述止推轴承主体安装在所述止推轴承座中,位于所述第二支撑轴底部的三个所述连接框架延伸至所述固定环圆心处的端部设置有安装所述止推轴承座的退让槽A;

[0019] 所述滚珠轴承组件包括滚珠轴承主体和滚珠轴承座,所述第一支撑轴的顶部通过滚珠轴承主体安装在所述滚珠轴承座中,位于所述第一支撑轴的顶部的三个所述连接框架延伸至所述固定环圆心处的端部设置有安装所述滚珠轴承座的退让槽B。

[0020] 作为本发明的一种优选方案,所述驱动装置包括用于安装产生磁力矩的线圈的环

形支撑架,所述环形支撑架的某一直径的两个端部均安装有连接件,所述第二支撑轴的顶部通过连接件连接所述环形支撑架,所述第一支撑轴的底部通过连接件连接所述环形支撑架,两个所述连接件所在的所述环形支撑架的直径与所述第一支撑轴和第二支撑轴共线。

[0021] 本发明提供了一种根据所述的低轨道地磁储能释能投送地面试验系统的实现方法,包括步骤:

[0022] S100、通过控制端为系统上电,并通过控制端输入系统所需的包括驱动装置的生成磁矩大小和角度,以及投送装置进行投送目标分离的线速度的控制参数信号,并通过无线传输模块输送至系统控制模块;

[0023] S200、驱动装置通过接收系统控制模块的角度控制参数信号调节自身至相对于共线轴的最大磁力矩位置,然后接收生成磁矩大小控制参数信号控制驱动装置产生稳定磁矩,同时姿态检测模块检测第二支撑轴的姿态信号形成第一投送组件和第二投送组件进行地磁储能的快速对转动作;

[0024] S300、待投送装置检测到投送目标的线速度达到设定的分离线速度时,控制端发出第一投送组件和第二投送组件上的投送目标的分离信号完成投送目标的投送,然后系统控制模块控制第一投送组件和第二投送组件减速直至完全停止。

[0025] 作为本发明的一种优选方案,在S200中,通过姿态检测模块和相机实时记录系统实验过程中的第一支撑轴、第二支撑轴以及驱动装置、投送装置的状态图像,系统控制模块将图像及实验过程的数据信息通过无线传输模块实时传输回至控制端。

[0026] 作为本发明的一种优选方案,在驱动装置通过接收系统控制模块的角度控制参数信号调节自身至相对于共线轴的最大磁力矩位置后,直至第一投送组件和第二投送组件减速直至完全停止均保持最大磁力矩位置姿态不变。

[0027] 本发明与现有技术相比较具有如下有益效果:

[0028] 本发明在系统体积及重量小、模块化设计、可拆卸式结构,便于安装、维护与升级;系统整体设计及搭建的成本低、安全性高,且功耗小;操控人员和实验部分实现分离,既能保证实验顺利进行及实验数据完整获取,又能保证实验操控人员的人身安全;该地面实验系统能有效用于验证无工质消耗的地磁储能和释能投送离轨新方法,为新领域新方法提供原理验证支撑。

## 附图说明

[0029] 为了更清楚地说明本发明的实施方式或现有技术中的技术方案,下面将对实施方式或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍。显而易见地,下面描述中的附图仅仅是示例性的,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据提供的附图引伸获得其它的实施附图。

[0030] 图1为本发明实施例提供低轨道地磁储能释能投送地面试验系统的结构示意图;

[0031] 图2为本发明实施例提供驱动装置和投送装置的装配结构示意图;

[0032] 图3为本发明实施例提供图2中A滚珠轴承组件的放大结构示意图;

[0033] 图4为本发明实施例提供图2中B止推轴承组件的放大结构示意图。

[0034] 图中的标号分别表示如下:

[0035] 1-驱动装置;2-投送装置;3-固定支架结构;4-滚珠轴承组件;5-止推轴承组件;6-

第一支撑轴;7-第二支撑轴;8-第一投送组件;9-第二投送组件;10-投送连接架;11-能量交换装置;12-投送目标;

[0036] 101-环形支撑架;102-连接件;

[0037] 31-连接框架;32-固定环;

[0038] 41-滚珠轴承主体;42-滚珠轴承座;43-退让槽A;

[0039] 51-止推轴承主体;52-止推轴承座;53-退让槽B。

### 具体实施方式

[0040] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0041] 如图1至图4所示,本发明提供了一种低轨道地磁储能释能投送地面试验系统,包括系统控制模块、驱动装置1、投送装置2、姿态检测模块、无线传输模块以及控制端;

[0042] 系统控制模块,从控制端通过无线传输模块获取用于驱动驱动装置1和投送装置2工作的控制信号;

[0043] 驱动装置1,与投送装置2连接,并配置成与投送装置2的在转动时的惯量主轴共线,驱动装置1用于接收系统控制模块的控制信号驱动投送装置2进入地磁储能状态;

[0044] 投送装置2,接收系统控制模块的控制信号由地磁储能状态向地磁释能状态转变,对安装在投送装置2上的投送目标12进行投送;

[0045] 姿态检测模块,用于实时监测驱动装置1和投送装置2的工作姿态,并反馈至系统控制模块,系统控制模块实时更新控制信号。

[0046] 驱动装置1和投送装置2通过固定支架结构3安装在实验场地上,固定支架结构3的内部竖直安装有共线轴,投送装置2和驱动装置1均安装在共线轴上,共线轴的顶部通过滚珠轴承组件4安装在固定支架结构3上,共线轴的底部通过止推轴承组件5连接在固定支架结构3上。

[0047] 固定支架结构3包括三个呈“匚”字形的连接框架31,以及分别固定连接三个连接框架31的顶部和底部的固定环32,三个连接框架31均匀分布在固定环32的周向上,且三个连接框架31的顶部和底部的端部沿固定环32的径向延伸至固定环32的圆心处,止推轴承组件5和滚珠轴承组件4对应安装在三个连接框架31延伸至固定环32圆心处的端部。

[0048] 共线轴包括轴向安装在位于连接框架31上部的固定环32圆心处的第一支撑轴6和轴向安装在位于连接框架31下部的固定环32圆心处的第二支撑轴7,第一支撑轴6和第二支撑轴7均连接驱动装置1,投送装置2安装在第一支撑轴6的轴身上,且第一支撑轴6和第二支撑轴7共线。

[0049] 投送装置2包括套设在第一支撑轴6的轴身上的第一投送组件8和第二投送组件9,且第一投送组件8和第二投送组件9均包括投送连接架10,以及驱动投送连接架10以第一支撑轴6为转动轴进行转动的能量交换装置11,且第一投送组件8和第二投送组件9的投送连接架10在对应的能量交换装置11驱动下的转动方向相反,投送目标12安装在投送连接架10的端部。

[0050] 止推轴承组件5包括止推轴承主体51和止推轴承座52,第二支撑轴7的下端通过止推轴承主体51安装在止推轴承座52中,位于第二支撑轴7底部的三个连接框架31延伸至固定环32圆心处的端部设置有安装止推轴承座52的退让槽A53;

[0051] 滚珠轴承组件4包括滚珠轴承主体41和滚珠轴承座42,第一支撑轴6的顶部通过滚珠轴承主体41安装在滚珠轴承座42中,位于第一支撑轴6的顶部的三个连接框架31延伸至固定环圆心处的端部设置有安装滚珠轴承座42的退让槽B43。

[0052] 驱动装置1包括用于安装产生磁力矩的线圈的环形支撑架101,环形支撑架101的某一直径的两个端部均安装有连接件102,第二支撑轴7的顶部通过连接件102连接环形支撑架101,第一支撑轴6的底部通过连接件102连接环形支撑架101,两个连接件102所在的环形支撑架101的直径与第一支撑轴6和第二支撑轴7共线。

[0053] 本发明提供了一种根据上述的低轨道地磁储能释能投送地面试验系统的实现方法,包括步骤:

[0054] S100、通过控制端为系统上电,并通过控制端输入系统所需的包括驱动装置的生成磁矩大小和角度,以及投送装置进行投送目标分离的线速度的控制参数信号,并通过无线传输模块输送至系统控制模块;

[0055] S200、驱动装置通过接收系统控制模块的角度控制参数信号调节自身至相对于共线轴的最大磁力矩位置,然后接收生成磁矩大小控制参数信号控制驱动装置产生稳定磁矩,同时姿态检测模块检测第二支撑轴的姿态信号形成第一投送组件和第二投送组件进行地磁储能的快速对转动作;

[0056] S300、待投送装置检测到投送目标的线速度达到设定的分离线速度时,控制端发出第一投送组件和第二投送组件上的投送目标的分离信号完成投送目标的投送,然后系统控制模块控制第一投送组件和第二投送组件减速直至完全停止。

[0057] 在S200中,通过姿态检测模块和相机实时记录系统实验过程中的第一支撑轴、第二支撑轴以及驱动装置、投送装置的状态图像,系统控制模块,系统控制模块将图像及实验过程的数据信息通过无线传输模块实时传输回至控制端。

[0058] 在驱动装置通过接收系统控制模块的角度控制参数信号调节自身至相对于共线轴的最大磁力矩位置后,直至第一投送组件和第二投送组件减速直至完全停止均保持最大磁力矩位置姿态不变。

[0059] 以上实施例仅为本申请的示例性实施例,不用于限制本申请,本申请的保护范围由权利要求书限定。本领域技术人员可以在本申请的实质和保护范围内,对本申请做出各种修改或等同替换,这种修改或等同替换也应视为落在本申请的保护范围内。



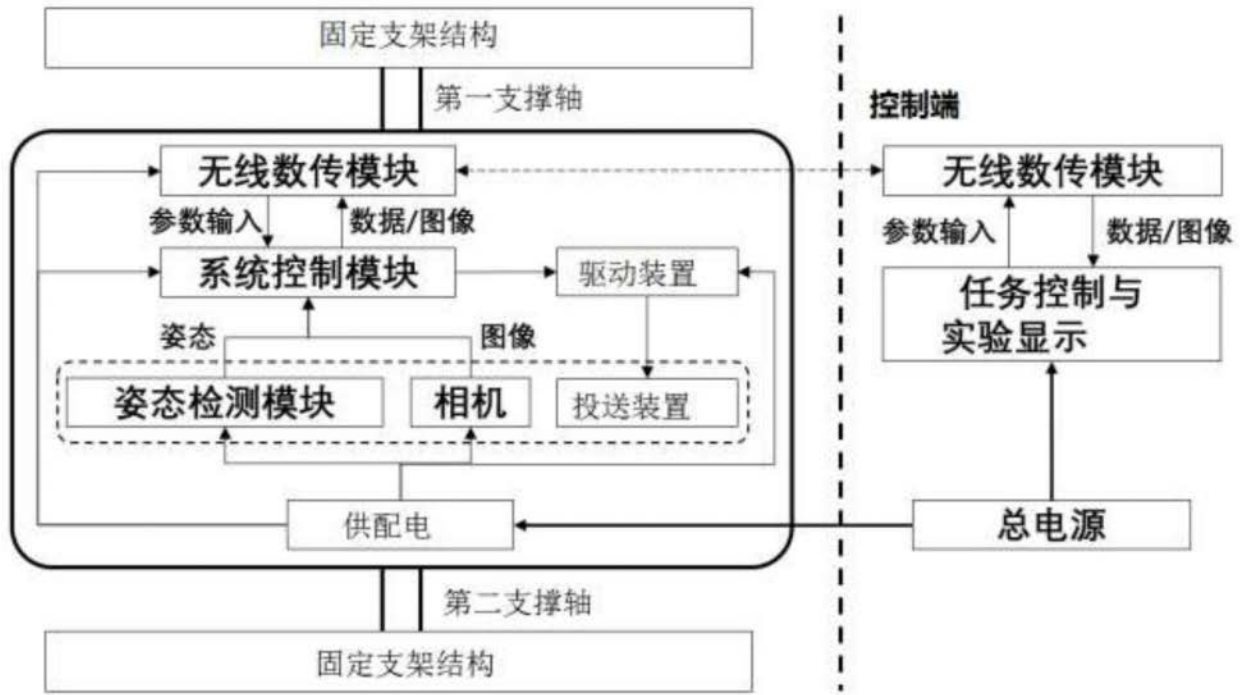


图1

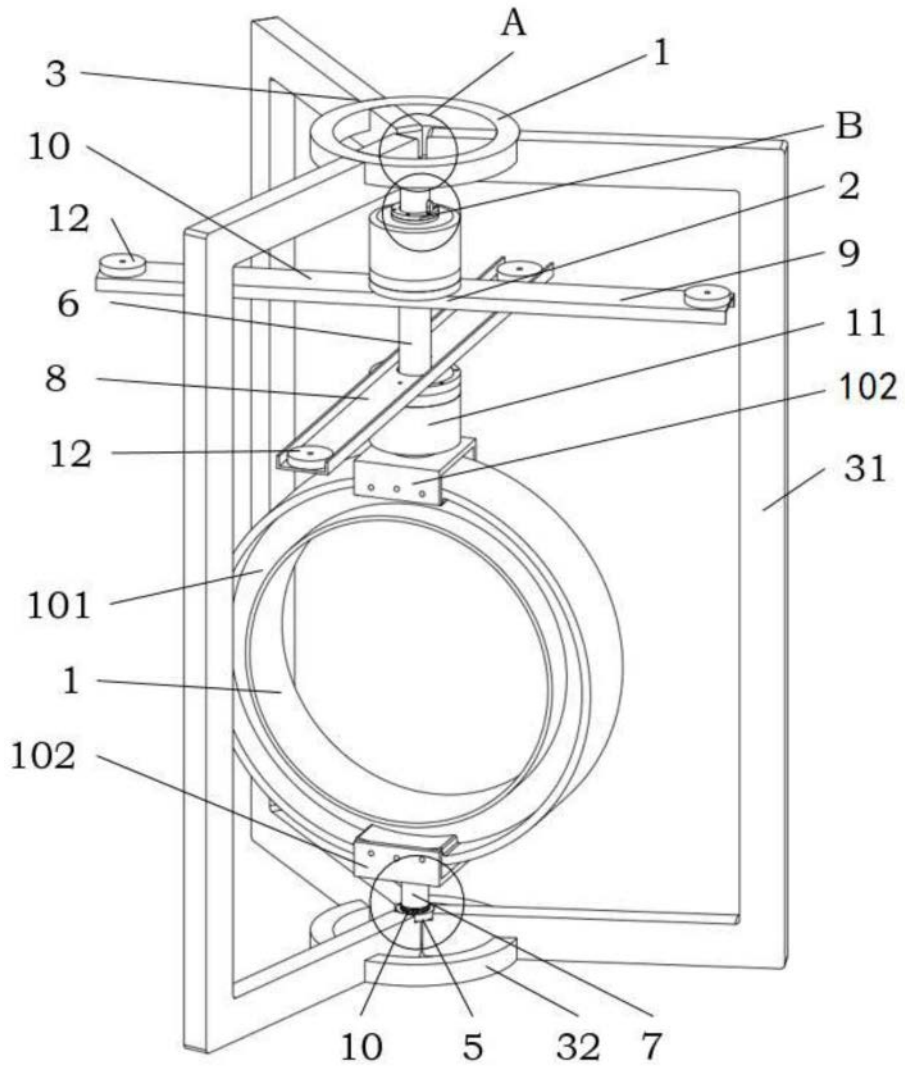


图2

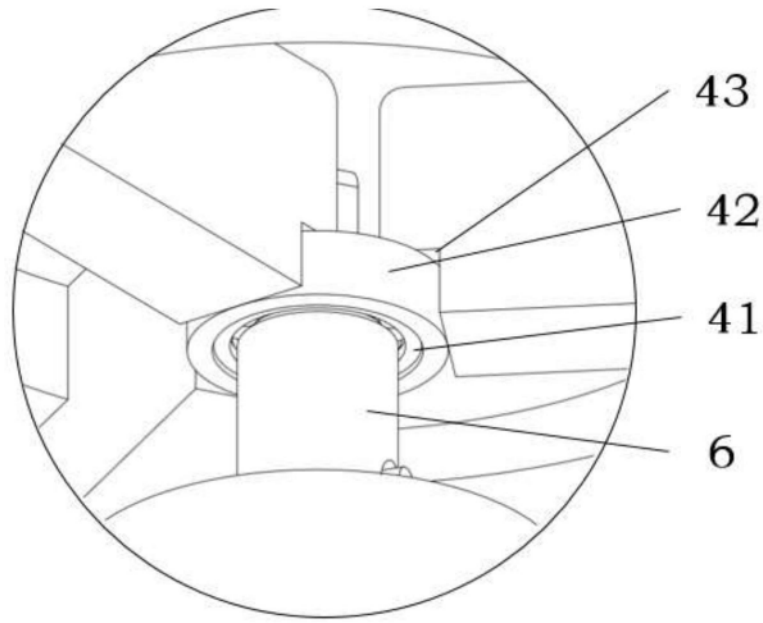


图3

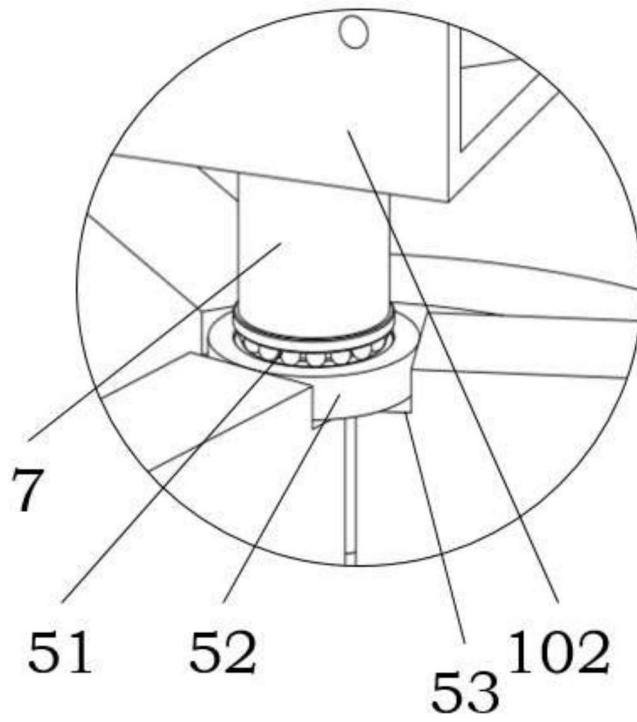


图4